

NİLÜFER İLÇESİ
İŞIK KİRLİLİĞİ ARAŞTIRMA PROJESİ
SONUÇ RAPORU

ARALIK 2017



isikkirliligi.org

Türkiye'de ışık kirliliğini engelleme çalışmaları

Proje Adı: Nilüfer’de Işık Kirliliği Araştırma Projesi

Proje Süresi: 29.06.2017 – 31.12.2017

Proje Ortakları: Nilüfer Belediyesi
TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası (EMO)
Bursa Amatör Astronomi Kulübü (BAAK)
isikkirliligi.org

Proje Çalışanları: Zerrin GÜLEŞ (Nilüfer Belediyesi)
Azize ÇAKICI (Nilüfer Belediyesi)
Yusuf ERBİL (Nilüfer Belediyesi)
Dinçer ŞENTÜRK (Nilüfer Belediyesi)
Yasemin DERE (Nilüfer Belediyesi)
İlhan VARDAR (BAAK)
Uğur İKİZLER (BAAK)
Şenol ŞANLI (BAAK)
Cem ÖZKAN (BAAK)
Korhan KANDİL (BAAK)
Özgür Ece VARDAR (BAAK)
Canan BİLGİ (BAAK)
Ercan ERBAŞ (BAAK)
Zerrin ÖZEL (BAAK)
Ayşegül DURMAYAZ (EMO)
Remzi ÇINAR (EMO)
Sedat GÖKMENOĞLU (EMO)
Bülent ASLAN (isikkirliligi.org)

ÖZET

Işığın yanlış yerde, yanlış miktarda, yanlış yönde ve yanlış zamanda kullanılması *Işık Kirliliği* (IK) olarak tanımlanır. Özellikle gece aydınlatmalarında kullanılan ışığın, istenmeyen ya da gerekmeyen yeri aydınlatması hem rahatsız edici ışık hem de boşa giden enerji demektir. Gözün alışık olduğu aydınlatma düzeyini aşan ışık, gözün görme yetisinin bozulmasına, nesnelerin görünürlüğünün kaybolmasına ve gece yol ve çevre güvenliğinin olumsuz etkilenmesine neden olur. Yanlış kullanımdan kaynaklı olarak gökyüzüne doğru yayılan yapay ışık, atmosferdeki toz ve moleküller tarafından her yöne saçılarak gökyüzünün fon parlaklığını artırır. Bu durum, gökyüzünün doğal güzelliğinin bozulmasına, yıldızların görünürlüğünün kaybolmana sebep olmanın yanında canlı hayatın 24 saatlik aydınlık-karanlık dengesine de müdahale anlamına gelmektedir. Hayatın hemen her yönünü etkileyen, çok sayıda uzmanlık alanını ilgilendiren ışık kirliliğinin engellenebilmesi için nicel verilerle desteklenmiş çalışmalara ve bunların sonucunda da kamu politikalarının üretilmesine ihtiyaç vardır.

Bu projede, Nilüfer ilçesinde gece gökyüzü parlaklığı ölçümleri yapılarak bölgenin ışık kirliliği haritası çıkartılmış ve yanlış aydınlatmadan kaynaklanan enerji kaybı hesaplanmıştır. Proje sürecinde, ışık kirliliği ve kent merkezlerinde gökyüzü parlaklığı ölçümleri konusunda bilgilendirme ve eğitim toplantıları yapılmıştır. Proje ortağı katılımcı kurum ve kuruluşlarda görevli kişilerden 4 (dört) grup oluşturulmuş, ardışık 6 (altı) gecede toplam 171 (yüz yetmiş bir) farklı noktada başucu doğrultusunda ölçümler yapılarak veriler kayıt altına alınmıştır. Enerji kaybı hesabının yapılabilmesi için geliştirilen modelde kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan açı bağımlı ölçümler (başucu-ufuk arası) 7 (yedi) farklı noktada dört ana yönde (doğu, batı, kuzey, güney) olacak şekilde ardışık iki gecede yapılmıştır. Tüm veriler, bir Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) programına aktarılarak eş parlaklık eğrileri oluşturulmuş, buradan elde edilen alanlar kullanılarak Nilüfer ilçesindeki yanlış aydınlatmadan kaynaklı kaybolan toplam ışık miktarı ve buna karşılık gelen enerji değerleri/kaybı hesaplanmıştır. **Kaybolan toplam ışık miktarının 101 milyon lümen, ekonomik karşılığının ise 1,75 milyon TL/yıl olduğu bulunmuştur.**

Kurgusu ve uygulama şekliyle Türkiye’de bir ilk olma özelliği taşıyan projenin başka bölgelerde sonradan yapılacak çalışmalara örnek olması beklenmektedir. Proje, elde edilen bilgi doğrultusunda konu hakkında farkındalık yaratılması, özellikle ilgili kamu kurum ve kuruluşlarının faaliyete geçirilerek doğru aydınlatmanın sağlanması, ilgili mevzuatlarda ışık kirliliği yaratmayacak dış aydınlatma armatürlerinin temin ve tasarımı için bilimsel dayanak oluşturulması bakımından önemlidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	3
İÇİNDEKİLER	4
KONU ve KAPSAM	5
Işık Kirliliğinin Maliyeti.....	6
Doğru Aydınlatma.....	7
İŞIK KİRLİLİĞİNİN ETKİLERİ	10
İnsan Sağlığına Etkileri.....	11
Doğal/Vahşi Yaşama Etkileri.....	12
Hava Kirliliğine ve Enerji Tüketimine Etkileri.....	12
Astronomi ve Karanlık Gökyüzüne Etkileri.....	13
PROJE ÇALIŞMALARI	14
Yöntem.....	15
Ölçüm Cihazı.....	16
Ölçümler ve Haritalama.....	17
Açı Bağımlı Ölçümler.....	21
Kaybolan Işık Miktarı.....	22
Tahmini Mali Kayıp.....	28
SONUÇ	28
EK-1: ÖLÇÜMLERDE DİKKAT EDİLECEK HUSUSLAR	30
EK-2: ÖRNEK FOTOĞRAFLAR	32
EK-3: ÖLÇÜM VERİLERİ	35
EK-4: HESAPLAMA VERİLERİ	38
EK-5: AÇI BAĞIMLI HESAPLAMA VERİLERİ	40

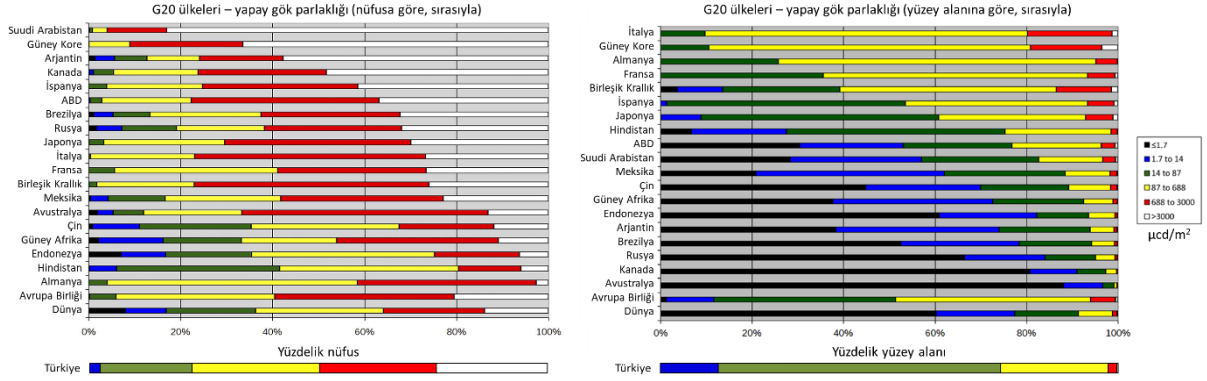
KONU ve KAPSAM

Geçen zaman ve gelişen teknolojiyle birlikte, gece yaşam süremizi uzatmak için yapay aydınlatmalar kullanıyoruz. Yapay aydınlatmaları kullanırkenki temel amacımızın ise kendimizi daha güvende hissetmek için daha iyi görmeyi sağlamanın yanında daha güzel bir çevre yaratmak, daha kolay çalışmak, daha iyi ve görünür reklam yapmak olduğu söylenebilir. Ancak bugün geldiğimiz noktada, hayat kalitemizin iyileşmesi için kullandığımız gece aydınlatmalarının yanlış kullanılmasından kaynaklı olumsuz etkiler de hayatın çok farklı yerlerinden kendini göstermeye başlamıştır. Yanlış aydınlatmanın, insanların sağlığından doğal/vahşi yaşama, ekonomiden astronomi bilimine kadar çok yaygın ve olumsuz etkileri vardır. Bütün dünyada olduğu gibi Türkiye'de de yanlış gece aydınlatma uygulamaları vardır ve maalesef giderek de yaygınlaşmaktadır. Bu kapsamda geliştirdiğimiz bu projede, Nilüfer ilçesindeki yanlış aydınlatmadan kaynaklı ekonomik kaybın hesaplanarak hem bu küresel soruna dikkat çekilmesi hem de Nilüfer Belediyesi özelinde geliştirilecek çözüm ve önerilerle ülkemizde yapılacak diğer çalışmalara örnek olunması planlanmıştır.

Işık kirliliği, ışığın yanlış yerde, yanlış miktarda, yanlış yönde ve yanlış zamanda kullanılmasıdır. Hava kirliliği havamızı, su kirliliği suyumuzu kirlettiği gibi, ışık kirliliği de iyi aydınlatmamızı kirletmektedir. “Kirlilik” denildiğinde normalde olmasını istemediğimiz yerde bulunan ve oraya ait olmayan unsurlar akla gelir; bu anlamda ışık kirliliği ışığın olmaması gereken yerde bulunması durumudur yani ortamın doğal ışık miktarının yapay ışık (insan yapımı aydınlatma) kullanılarak ihtiyacın ötesinde değiştirilmesidir. Gereğinden fazla ve yanlış yerde ışık kullanmak etkisiz aydınlatma demektir; bunun sonucu olarak ışığı üretmek için harcanan enerjinin önemli bir kısmı da boşa gitmektedir. Uzaydan uydularla alınan gece görüntüleri, dış aydınlatma lambalarından çıkan ışığın önemli bir kesrinin uzaya gittiğini kanıtlamaktadır. Bir önemli kesri de Yer atmosferi içindeki moleküller ve tozlar tarafından atmosfer içine saçılır, gece gökyüzünün doğal fon parlaklığından daha parlak olmasına neden olur. Bu ışık kirliliğinin kaynağı kısmen aydınlatılmış Yer yüzeyindeki nesnelere yansıyan ışık olmasına karşın, esas kaynak kötü tasarlanmış ve kurallara uymayan armatürlerdir.

Işık kirliliğinin bütün dünyadaki nitel ve nicel boyutu, ABD Hava Kuvvetleri Savunma Meteoroloji Uydusu Programı (DMSP) ile yeryüzünün uzaydan elde edilen gece görüntüleri kullanılarak elde edilen bir bilimsel çalışmayla 2016 yılında güncellenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, Dünya nüfusunun %83'ünden, Avrupa ve Amerika nüfusunun %99'undan fazlası ışık kirliliği altında yaşamaktadır! Dünya nüfusunun üçte biri, Avrupalıların %60'ı ve

Kuzey Amerikalıların %80'i ise Samanyolunu görememektedir. Örnek olması bakımından G20 ülkelerinin nüfusa ve yüzey alanına göre ışık kirliliği sıralaması Şekil 1'de verilmiştir. Bu çalışmada verilen tablodaki değerlere bakıldığında Türkiye için şu sonuçlar çıkmaktadır: Türkiye nüfusun %97,8'i ışık kirliliği altında yaşamakta ve nüfusun yarısı (%49,9) Samanyolunu hiç görmemektedir ki bu yüzey alanının sadece %2,2'sine karşılık gelmektedir. Yani, ülkemizde karanlık yerlerdeki insan yoğunluğu çok azdır.



Şekil 1. G20 ülkelerinin nüfusa (sol) ve yüzey alanına (sağ) göre ışık kirliliği sıralaması. (Işık kirliliği (yeşil): >14 µcd/m², Samanyolu görünürlük kaybı (kırmızı): >688 µcd/m²)

Işık Kirliliğinin Maliyeti

Kullanılmayan, boşa giden, uzaya kaçan ışık; boşa harcanan enerji, boşa harcanan para ve boşa harcanan doğal kaynaklardır. Doğru aydınlatmanın yapılmadığı yerlerde, ihtiyaçtan daha çok ve daha uzun süreli ışık kullanımı vardır. Dolayısıyla daha fazla para harcanması söz konusu olduğu için de ekonomiye ciddi bir yük getirmektedir. Şehirlerin, örneğin Ankara'nın, Antalya'nın, Bursa'nın üstünde uçaktan gece aşağı bakıldığında savurgan aydınlatma kolayca görünmektedir: Görünen, yanlış yönlendirilmiş sokak ve cadde lambaları, ilan ve reklam panolarıyla bina aydınlatmalarından doğrudan uzaya kaçan ışıklardır. Aslında bu ışıkların bir kısmı doğrudan değil yer yüzeyinden ışığın yansımaları sonucunda gerçekleşmektedir ancak bu oran, kar örtüsü hariç, genelde %15'in altındadır. Dolayısıyla uçaktan görünen ışık denizi, çoğunlukla doğrudan yukarı yönlendirilmiş, boşa giden ışıktır.

Şekil-2'de, NASA ve Google'ın ortak çalışması sonucunda uydu görüntüleri kullanılarak elde edilmiş haritadan alınan Türkiye'nin gece uzaydan görüntüsü verilmiştir. Şehirlerin, küçük ve büyük yerleşim yerlerinin ve hatta yolların bile görüldüğü bu harita, ışığın yanlış kullanımının en kesin kanıtıdır. Yıllar içinde yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında, ışık kirliliğinin ve

maliyetinin giderek arttığı görülmektedir. Bütün bunlar, elektrik üretirken tükettiğimiz sınırlı petrol, doğal gaz ve kömür kaynaklarımızın önemli bir kısmının boşa harcandığı anlamına gelmektedir ve bu yolla atmosfer de sürekli olarak kirletilmektedir. 100 W'lık bir lambayı yıl boyunca her gece yakmak, yarım ton kömürün enerjisine eşdeğer enerji harcamaktadır. Uluslararası Karanlık Gökyüzü Birliği'nin yaptığı bir araştırmaya göre, dış aydınlatmalarda ışığın %30 kadarı boşa gitmektedir. Güncel rakamlara göre, bu yanlış uygulamaların maliyetinin ABD'de yılda **3,3 milyar dolar (12,5 milyar TL)** olduğu hesaplanmıştır. İngiltere'de ise yanlış ışıklandırma yılda **53 milyon sterlin (270 milyon TL)** tutarında enerji kaybına neden olmaktadır. Türkiye'de henüz böyle büyük ölçekte bir çalışma yapılmamıştır. 1997 yılında yapılan çalışmada uydu görüntüleri kullanılmış ve bazı şehirler için hesaplar yapılmıştır: İstanbul'dan 13,6 milyon kWh (kilovatsaat), Ankara'dan 6,8 milyon kWh ve Bursa'dan ise 1,8 milyon kWh elektrik enerjisinin uzaya gönderildiği ve bunun da ekonomik değerinin 6 milyon TL olduğu hesaplanmıştır. Aradan geçen 20 yıllık süre içinde bu değerlerin çok daha büyük rakamlara ulaştığı bilinmektedir. 2012 yılında Eskişehir özelinde yapılan bir pilot çalışma sonuçlarına göre, tüm Türkiye'de yaklaşık yıllık **250 milyon TL** tutarında enerjinin boşa gittiği tahmin edilmektedir. Yanlış kullanılan ışığın yarattığı bu büyük ekonomik yük, ışığın üretim süreçleri de hesaba katıldığında (doğal kaynakların çıkartılması, santrallerin kurulması ve işletimi, üretilen elektriğin hatlar üzerinden iletilmesi vs) çok daha büyük değerlere çıkmaktadır.



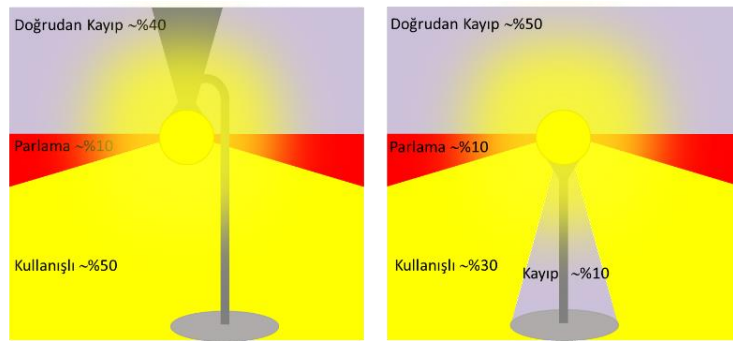
Şekil 2. Türkiye'nin gece uzaydan görüntüsü. (<http://www.blue-marble.de/nightlights/2012>)

Doğru Aydınlatma

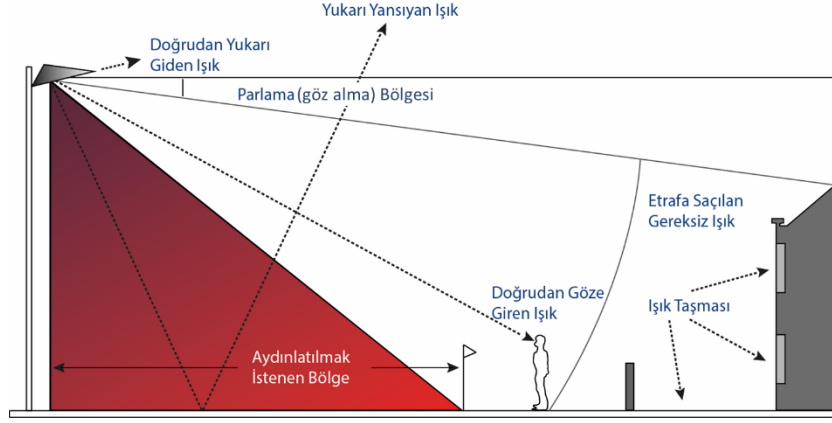
Gece güvenliğinden ve aydınlatmanın işlevsel yönünden tasarruf etmeden ışıklandırmada enerji tasarrufunun sağlanması ve ışık kirliliğinin en aza indirilmesi *doğru aydınlatmanın* nihai

hedefidir. Gökyüzünü aydınlatmanın pratik bir işlevi olmadığı gibi fazla ışığın güvenliğe de katkı sağlamadığı ABD gibi ışık kirlenmesinin fazla olduğu ülkelerde yapılan araştırmalardan anlaşılmaktadır: fazla ışık, aydınlık ve karanlık arasındaki kontrast farkını arttırdığından, suçluların saklanabileceği daha fazla ortam yarattığından suç işlemeyi engellememektedir. O halde, ilke olarak, izlenecek yol (1) ışığın göğe yönelmesini kesmek ve aydınlatılacak yere yöneltmek, (2) birim enerji başına daha çok ışık veren kaynakları kullanmak ve (3) zamanlayıcılar kullanarak, gereksiz aydınlatmaları -örneğin reklam ve ilan ışıklandırmalarını- gece yarısından sonra kapatmak olmalıdır.

Dış aydınlatma lambaları, lambanın bulunduğu yerden geçen yatay düzlemden daha yukarıya ışık gitmeyecek şekilde perdelenmelidir. Lambadan çıkan ışığın doğrultusu doğru ayarlanmadığı takdirde, ışığın çoğu ya doğrudan gökyüzüne gider ya da yere çok uzaklarda ve zayıflamış olarak ulaştığından verimsiz bir aydınlatma halini alır. Böyle ışıklandırmalar, ister şehir ister şehirlerarası yolda olsun göz kamaştırır ve görüşü engeller. Örneğin, çoğunlukla park ve bahçelerde gördüğümüz “karpuz” olarak bilinen lambalardaki kullanışlı ışık, yayılan toplam ışığın sadece %30’u ile %50’si arasındadır (Şekil 3). Dış alan aydınlatmalarında genel kural olarak Şekil 4’de şematik olarak gösterilen durumlar bilinmelidir: kullanışlı ışığın olduğu bölgeyi gösteren kırmızı renkli bölge dışına çıkan her aydınlatma/ışık, o ya da bu sebeple yanlış aydınlatma örneği olmaktadır. Yanlış aydınlatmalarda doğrudan göze ışık girmesi ve bunun sonucunda kısmi/geçici körlük yaşanmasının yanında, ışık tecavüzü olarak bilinen pencereden isteğiniz dışında giren ışığın yarattığı rahatsızlık ve doğrudan gökyüzüne kaçan ışık gibi kaçınılması gereken durumlar yaşanır.

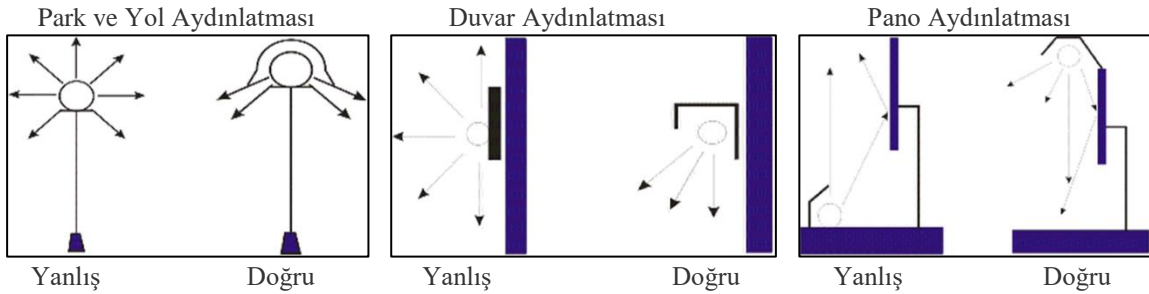


Şekil 3. Karpuz olarak bilinen lambalarda elektrik bağlantılarına göre aydınlatma durumlarının şematik gösterimi.

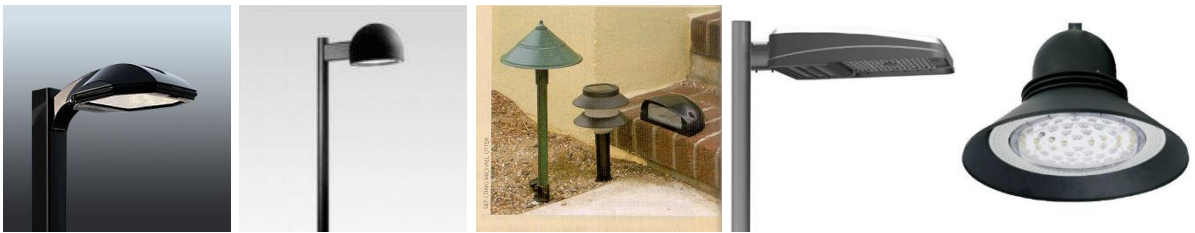


Şekil 4. Dış alanda aydınlatma durumlarının şematik gösterimi.

Işık kirliliğini engellemenin en etkili ve basit yolu, ışığı aydınlatılmak istenen yere yönlendiren, gökyüzüne kaçmasına engel olan tam perdeli armatürlerin kullanılmasıdır. Dış alan aydınlatmalarında kullanılan ve örnek olması bakımından farklı aydınlatma yerleri/şekilleri için “yanlış” ve “doğru” kullanımlarının şematik gösterimi Şekil 5’te verilmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7’de ise tam perdeli armatür örnekleri ve bunların “doğru” kullanıma dair görseller verilmiştir. Karanlık gökyüzü uyumlu aydınlatma armatürleri için daha fazla bilgi, sertifikalı marka-model Uluslararası Karanlık Gökyüzü Birliği (IDA – International Dark Sky Association) tarafından yayınlanmıştır.



Şekil 5. Farklı yerlerde kullanılan aydınlatmalarda ‘yanlış’ ve ‘doğru’ uygulamaları.



Şekil 6. Tam perdeli armatür örnekleri.



Şekil 7. Tam perdeli armatür örnekleri – doğru uygulamalar.

Dış alanlarda ihtiyaç duyulan aydınlatmaların doğru ve verimli olması için, kullanılan lamba cinsleri de armatür kadar önemlidir. Dış aydınlatmada kullanılan ışık kaynakları; yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar, yüksek ve düşük basınçlı sodyum buharlı lambalar, akkor lambalar, flüoresans lambalar, metal tuzu lambalar ve son zamanlarda çok kullanılmaya başlanan ışık yayan diyot (LED) lambalar olarak sıralanabilir. Sokak aydınlatmalarında görmeye alışkın olduğumuz sarı-turuncu renkli lambalar sodyum buharlı lambalardır ve ışık kirliliği bakımından şu an için hâlâ en uygun aydınlatma şekli olarak görülmektedir. Rengi nedeniyle hem insan gözünü daha az yormakta, hem atmosferdeki saçılması daha az olduğu için uzun mesafeleri aydınlatabilmekte hem de gece uçan böcekler (uçan omurgasızlar olarak bilinen kelebek, sinek, güve vb.) için en az zararlıdır. Aynı zamanda, harcanan enerjiye karşılık yaptığı aydınlatma bakımından da verimli ışık kaynakları grubundadırlar. Ekonomik olmaları ve enerji verimlilikleri bakımından son yıllarda çok fazla kullanılan beyaz renkli ışık yayan diyotlar (LED) ise maalesef aşırı ışık kirliliğine sebep olan ve çok daha dikkatle kullanılması gereken lambalardır. LED lambalarının doğrudan beyaz ışık verebilmeleri teknolojik olarak mümkün olmadığından mavi renkli yani yüksek enerjili bir ışık üretirler. Bu nedenle, her ne kadar beyaz LED lambası deniliyorsa da bunlar mavice zengin ışık yaymaktadırlar ama insan gözü bunun farkına tam olarak varamaz. Mavi dalgaboyu ise özellikle geceleyin gözü en çok yoran ve ağrıya neden olan ışık türüdür. Atmosferde daha fazla saçıldığında uzun mesafelerin aydınlatılması için ya daha güçlü ya da daha sık aydınlatma yapmaya ihtiyaç duyulur. Benzer şekilde göz içinde de saçıldığından gece görüşü zayıflatır.

IŞIK KİRLİLİĞİNİN ETKİLERİ

Kötü dış aydınlatmadan zarar görenler yalnız devlet bütçesi ya da gece gökyüzünün karanlığı değildir. Doğal ışığın, gece-gündüz farklılığının insan sağlığı dâhil birçok hayvan ve bitkinin yaşam çevrimlerinin önemli bir parçası olduğu iyi bilinmektedir. Yapılan araştırmalar ve

gözlemler, çevredeki yapay aydınlatma, yani ışık kirliliği artıkça bu yaşam çevrimlerinin de olumsuz etkilendiğini göstermektedir.

İnsan Sağlığına Etkileri

Yapılan araştırmalar, gece maruz kalınan fazla ışığın aşırı kilolu olma (obezite), depresyon, uyku bozukluğu, diyabet, meme kanseri ve başka hastalıklara yakalanma riskini arttırdığını göstermektedir. 24 saatlik gündüz/gece döngüsü (sirkadiyen çevrim), canlıların fizyolojik süreçlerini belirleyen, biyokimyasal mekanizmaları denetleyen biyolojik saatini etkiler. Evrimsel süreç içinde bütün canlılar gibi, insanlar da bu döngüye ayak uydurmuşlardır. Gece karanlıkta salgılanan melatonin hormonu, vücudun biyolojik saatini koruyup ritmini ayarlar, kansere karşı koruyucu direncini artırır. Sadece geceleyin ve karanlıkta salgılanan melatonin hormonunun bilinen etkileri şöyle sıralanabilir; hücreleri yenileyici, yaşlanmayı geciktirici ve antioksidan özelliğe sahiptir, uykuyu tetikler, bağışıklık sistemini kuvvetlendirir, kolesterolü düşürür ve tiroit, pankreas, kadın ve erkek üreme sistemleri ile böbreküstü bezlerinin düzgün çalışmasına yardımcı olur. Aydınlik süresinin uzaması veya aniden ışığa çıkılması melatonin salınımını baskılar, üretimini durdurur. Benzer şekilde, gece vardiyasında çalışan kadınlar üzerinde yapılan klinik araştırmalar, meme kanseri riskinin arttığını göstermektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), “biyolojik saat bozulmasına sebep veren vardiya çalışmalarını” olası kanserojen olarak listelemektedir. Lösemi ve diğer kanserlere yakalanan kişilerin özellikle tedavi süreçlerinde kesinlikle karanlık ortamda yatırımlarının/uyumalarının istenmesinin sebebi de bu gerçeklere dayanmaktadır.

Yapay aydınlatmalar, göz ve görüşü de önemli ölçüde etkiler. Gece maruz kalınan ışık, göz içinde saçılmaya uğradığından gece görüşü zayıflatır. Mavi ışık, özellikle geceleyin gözü en çok yoran ve ağrıya neden olan ışık türüdür. Gözün odaklama yapmasını da zorlaştırdığından nesnelere etrafında hale görünmesine sebep olabilir. Aydınlik (fotopik) ortamdaki karanlık (skotopik) ortama geçişte gözün en iyi görüşe ulaşması *karanlığa uyum* olarak bilinir. Karanlığa uyum, ışık rengine bağlıdır; örneğin mavi ışığa maruz kalmış gözün uyum zamanı daha uzundur. Bu nedenle, mavi renkli LED ve beyaz ışık veren LED lambalarının (içindeki mavi bileşen nedeniyle) çok daha dikkatli kullanılmalıdır. Aynı zamanda, reklam panolarında olduğu gibi şiddeti sürekli değişen aydınlatmalara maruz kalındığında; göz kamaşması yaşanmakta, göz kasları sürekli olarak aydınlık-karanlık uyumunu sağlamaya çalışmaktan yorulmakta, esnekliklerini kısa sürede kaybederek erken göz yaşlanmasına sebep olmaktadır. Sürekli değişen şiddetli ışığın epilepsi nöbetlerini tetiklediği de bilinmektedir.

Doğal/Vahşi Yaşama Etkileri

İnsanlara benzer şekilde, hayvanlar da biyolojik saatleriyle yaşarlar; çiftleşme, göç etme, uyuma ve yiyecek bulma davranışları gecenin uzunluğuyla belirlenir. Gecenin yapay şekilde aydınlatılması, eş zamanlama bozukluğuna (jet lag) ve yön duygusunun kaybına sebep olur. Hayvanlar, yapay aydınlatmalardan farklı şekillerde etkilenirler. Bunları; “ışığa gidenler”, “av bulamayanlar” ve “kafası karışanlar” olarak gruplandırmak mümkündür. Örneğin, Kuzey Amerika’da her yıl 100 milyon kuş, aydınlatılmış binalara çarparak ölüyor. Yapay ve yanlış aydınlatma nedeniyle büyük şehirlerden uzaya kaçan ışık, atmosferde saçılarak şehirlerin üzerinde parlak bir gök kubbesi oluşturur. Göçmen kuşlar uzak şehirlerin bu görüntüsü nedeniyle yönlerini şaşırmakta ve doğal varış yerlerine hiçbir zaman ulaşamamaktadırlar. Uzun süren yapay günler ve kısa süren yapay geceler çok sayıda kuşta üreme döneminin erken başlamasına neden oluyor. Uzayan bir gün, daha uzun süre beslenme anlamına geldiği için, bundan biyolojik davranış olan göç zamanları ve yumurtlama dönemleri etkilenmektedir.

Yapay aydınlatmalardan en çok etkilenen canlılardan birisi ülkemizde de çok sayıda bulunan deniz kaplumbağalarıdır. Dişi deniz kaplumbağaları, yumurtalarını bırakmak için uzak ve karanlık yerleri tercih ederler ama maalesef kıyı ışıkları güvenli yer bulmalarını engeller. Yumurtadan yeni çıkan deniz kaplumbağaları ise kıyıdaki yapay ışıkları, deniz yüzeyinin parlaklığı ile karıştırdıkları için denize hiç ulaşamazlar; kıyıdaki parlak ışıklara yöneldiklerinden denizden uzaklaşır ve ölürlür. Yarasa gibi gece beslenen hayvanlar da durumdan etkilenmektedir: gecenin aydınlık miktarının artması, hem avcı hayvanların karanlıkta av bulmak için evrimleşmiş yeteneklerinin etkisini zayıflatmakta, hem de avların avcuyu görerek kaçmasını sağlamaktadır. Besin zincirinin etkilenmesiyle doğanın dengesi bozulmakta, bazı gece avcılarının nesilleri tükenme tehlikesi altına girmektedir.

Bitkiler için de durum çok farklı sayılmaz; fotosentez süreçleri etkilendiği için fazla ışığa maruz kalan bitkiler-ağaçlar ölmekte, mevsimleri karıştırmakta, çiçeklenmeleri etkilenmektedir.

Hava Kirliliğine ve Enerji Tüketimine Etkileri

Işık kirliliğinin belki de en az bilinen etkisi, hava kirliliğiyle olan hem doğrudan hem de dolaylı olan ilişkisidir ki bunlar aynı zamanda birbirlerini de tetikleyen etkilerdir. Dolaylı etki şöyle özetlenebilir: Boşa giden ışık için kullanılan elektrik enerjisini üretmek için kullanılan fosil yakıtları hava kirliliğine neden olur. Tüm Dünya’da elektrik tüketiminin %19’u aydınlatmada

kullanılıyor ki bu 1,9 milyar ton karbon dioksit (CO_2) eşdeğerdir. 100 W'lık bir lambanın her gece bir yıl boyunca harcadığı enerji yarım ton kömür enerjisine eşdeğerdir. Tüm dünyada kullanılan lambaların sayısı düşünüldüğünde, çoğu insan için ortaya çıkan değeri kavrayabilmek bile zordur. Doğrudan etki ise şöyle söylenebilir: Atmosferde kirliliğe sebep veren moleküllerle kimyasal tepkimeye giren azot kökleri (NO_3) geceleyin havayı temizlerler. Ancak bunlar zayıf bağlı moleküller olduğundan parlak şehir ışıkları bu bağları kopartarak azot kökünü öldürür. Yani, yapay aydınlatmalar nedeniyle gece ne kadar kısa ve aydınlıksa, havayı temizleyen ajanların sayısı da o kadar azalmaktadır. Los Angeles'da yapılan bir çalışmaya göre, şehir ışıkları azot kökü düzeylerini, yani kimyasal temizleme işlemi, % 7 azaltmakta ve bir sonraki günün ozon kirlenmesi habercisi kimyasalları % 5 artırmaktadır.

Kullanılmayan, boşa giden, uzaya kaçan ışık; boşa harcanan enerji, boşa harcanan para ve boşa harcanan doğal kaynaklardır. Doğru aydınlatmanın yapılmadığı yerlerde, ihtiyaçtan daha çok ve daha uzun süreli ışık kullanımı vardır. Dolayısıyla daha fazla para harcanması söz konusu olduğu için de ekonomiye ciddi bir yük getirmektedir. ABD için bahsedilen bu yanlış aydınlatmanın atmosfere bedeli 21 milyon ton CO_2 salınımına denktir ve bu karbon dioksit salınımının etkisini sıfırlamak için her yıl en az 875 milyon ağaç ekimi yapılmalıdır! 2012 yılında Eskişehir kent merkezinde yapılan bir çalışmaya dayanarak Türkiye için bu değer yıllık yaklaşık 200 milyon TL civarında olduğu tahmin edilmektedir. Yanlış kullanılan ışığın yarattığı bu büyük ekonomik yük, ışığın üretim süreçleri de hesaba katıldığında (doğal kaynakların çıkartılması, santrallerin kurulması ve işletimi, üretilen elektriğin hatlar üzerinden iletilmesi vs) çok daha büyük değerlere çıkmaktadır.

Astronomi ve Karanlık Gökyüzüne Etkileri

Yapay aydınlatmalardan ilk etkilenenler/rahatsız olanlar, gökyüzü gözlemcileri, yani astronomlardır. Astronomlar, içinde yaşadığımız evrenin kökenini, yaşını ve yapısını anlamak için evrenin derinliklerine bakarak, milyarlarca yıl önce kaynağından çıkan ışıkları algılamak isterler. Bunun için de gecenin karanlığına ihtiyaç duyarlar; çünkü ortamdaki artan ışık miktarı, algılanmak istenen bu çok zayıf ışıkların görülmesine engel olur. Bu anlamda, yapay aydınlatmanın artmasıyla, astronomlar için karanlık gökyüzü kirlenmiş olur. Gözlemevlerinin şehirlerden uzakta, okyanusların ortasındaki adalarda, dağların tepesinde yani mümkün olduğunca yapay aydınlatmanın etkisinin hissedilmediği yerlerde kurulmasının sebebi budur. Güneş sistemimizin yaşının 2-3 katı kadar zamandır yolda olan ışığın tam bize ulaşacakken şehir ışıklarının çokluğu nedeniyle kaybolmaktadır. Gözlemevleri -şehirlerden yüzlerce km

uzakta olsa bile- bu sorunla karşı karşıyadır. Türkiye'nin ilk ve tek Ulusal Gözlemevi de bu sorunla karşı karşıyadır. Şekil 8'de gözlemevinden çekilen gökyüzü fotoğrafları verilmiştir: Antalya kent merkezine doğru çekilen fotoğrafta maalesef gökyüzündeki yıldızlar görünürlüklerini kaybetmiştir.



Şekil 8. TÜBİTAK bünyesindeki Türkiye Ulusal Gözlemevi (TUG). Antalya kent merkezinin tersi yönünde çekilen fotoğrafta (sol) yıldızlar görünürken, kent merkezine doğru çekilen fotoğrafta (sağ) yıldızlar görünürlüğünü kaybetmiştir. (Fotoğraflar: Uğur İkizler)

Bu yapay gök parlaklığı aynı zamanda vatandaşların gökyüzünü seyretmelerini, amatör gökbilimcilerin özel araçlarıyla gök cisimlerini izlemelerini de engellemektedir. Bugün kentlerde geline duruma insanlar samanyolunu ve hatta az sayıda bile olsa yıldız görebilmek için şehir dışına çıkmak zorunda kalmaktadır. Yani, ışık kirliliği insanlığı, parçası olduğu evrenden giderek daha çok soyutlamaktadır.

PROJE ÇALIŞMALARI

Bu projede, Nilüfer ilçesinde gece gökyüzü parlaklığı ölçümleri yapılarak bölgenin ışık kirliliği haritasının çıkarılması ve yanlış aydınlatmadan kaynaklanan enerji kaybının hesaplanması çalışmaları yapılmıştır. Uygulama kapsamında yapılan çalışmalarda, 2012 yılında Eskişehir kent merkezinde yapılan çalışma örnek alınarak benzer bir yöntem takip edilmiş, kullanılan model yeni ölçümlere göre güncellenmiştir. Proje sürecinde, ışık kirliliği ve kent merkezlerinde gökyüzü parlaklığı ölçümleri konusunda bilgilendirme, eğitim ve sonuç ön değerlendirme toplantıları yapılmıştır. Proje ortağı kurum ve kuruluşlardan katılımcıların katıldığı 6 (altı) toplantı şu şekilde özetlenebilir;

1. Toplantı: 18.08.2017. Açılış ve ön bilgilendirme.
2. Toplantı: 25.08.2017. Yöntem tanımlama ve ölçüm planlama.
3. Toplantı: 13.09.2017. Ölçüme hazırlık ve örnek ölçümler.

4. Toplantı: 14.09.2017. İlk ölçümler ve durum değerlendirme.
5. Toplantı: 16.10.2017. Tüm ölçümlerin kontrolü ve iş dağılımı.
6. Toplantı: 20.12.2017. Sonuçlar için ön değerlendirme ve bilgilendirme.

Yöntem

Doğu-batı doğrultusunda ~30 km ve kuzey-güney doğrultusunda ~26 km uzunluğunda olan Nilüfer ilçesinde sistematik ve kontrollü veri toplayabilme amacıyla çalışma alanı Şekil 9’da gösterildiği gibi 2x2 km²’lik alanlara bölünmüştür (mavi renkli ızgara). Ölçümler, oluşturulan ekipler tarafından her karenin ortasına (Şekil 9, pembe renkli noktalar) denk getirilmeye çalışılarak eş zamanlı olarak yapılmıştır. Çalışma alanı 4 (dört) bölgeye ayrılmış ve ölçümler en az iki kişiden oluşan 4 (dört) ekip tarafından eş zamanlı olarak yapılmıştır. Ekiplerin sorumlu oldukları çalışma alanları Şekil 9’da sarı renkli çerçevelerle gösterilmiştir.



Şekil 9. Nilüfer ilçesi (yeşil sınır çizgisi) ve çalışma alanındaki 2x2 km²’lik kare alanlar (mavi renkli ızgara), ölçüm alınması hedeflenen her karenin orta noktası (pembe noktalar) ve oluşturulan ekiplerin sorumluluk alanları (sarı renkli çerçeveler).

Ölçümler, gece gökyüzünde ayın olmadığı 13 – 18 Eylül 2017 tarihlerinde astronomik tan dışında kalan zaman diliminde yapılmıştır. Şehir aydınlatmasındaki saate bağlı etkilerin asgaride tutulabilmesi için, ölçüm zamanı saat 21:00 – 24:00 arasında sınırlandırılmıştır. Her ölçüm karesinin orta koordinatına ulaşılabilir en yakın koordinat, ölçüm noktası olarak seçilmeye özen gösterilmiştir. Aydınlatmaların doğrudan etkisinden olabildiğince uzak koordinatlardan ölçüm alınırken, otomobil, fasılalı yanıp sönen bozuk aydınlatmalar gibi

sürekliği olmayan geçici aydınlanmaların olmadığı zamanlarda ölçüm alınmaya çalışılmıştır. Gece gökyüzü parlaklığı (ışık kirliliği) ölçümleri yapılırken bilinmesi gereken ve dikkat edilecek unsurlar daha ayrıntılı olarak Ek-1’de verilmiştir.

Ölçüm Cihazı

Ölçümler, mevcut en iyi yöntem olarak kabul edilen, Unihedron firmasının Gök Niteliği Ölçeri (SQM – Sky Quality Meter: Clear Sky Detector) kullanılarak yapılmıştır. Arazideki farklı noktalardan ölçüm alma aşamasında, cihazlar dizüstü bilgisayarlar ile USB yolu ile bağlantılı olarak çalışmışlardır. Kullanılan cihazların 2 (iki) tanesi ve bunlara bağlanan bilgisayarlar proje kapsamında satın alınmış, diğerleri ise *isikkirliligi.org* tarafından sağlanmıştır. Şekil 10’da temsili olarak gösterilen SQM cihazı, 20 derecelik koni içinde kalan ve cihaza yönlendirmiş ışığı algılar. Bu koninin dışından (daha büyük açılarda) algılayıcıya gelen ışığın ölçülen değerlerdeki bir etkisi yoktur. Cihazdan okunan ve *SQM okuma değeri* olarak bilinen sayısal gökyüzü parlaklık değeri *kadir/açısanıye²* birimindedir. SQM değerinin 5 kadir/açısanıye² azalması, gökyüzü parlaklığının 100 kat artması anlamına gelmektedir.



Şekil 10. Ölçümlerde kullanılan Gök Niteliği Ölçeri (SQM) cihazı (temsili gösterim).

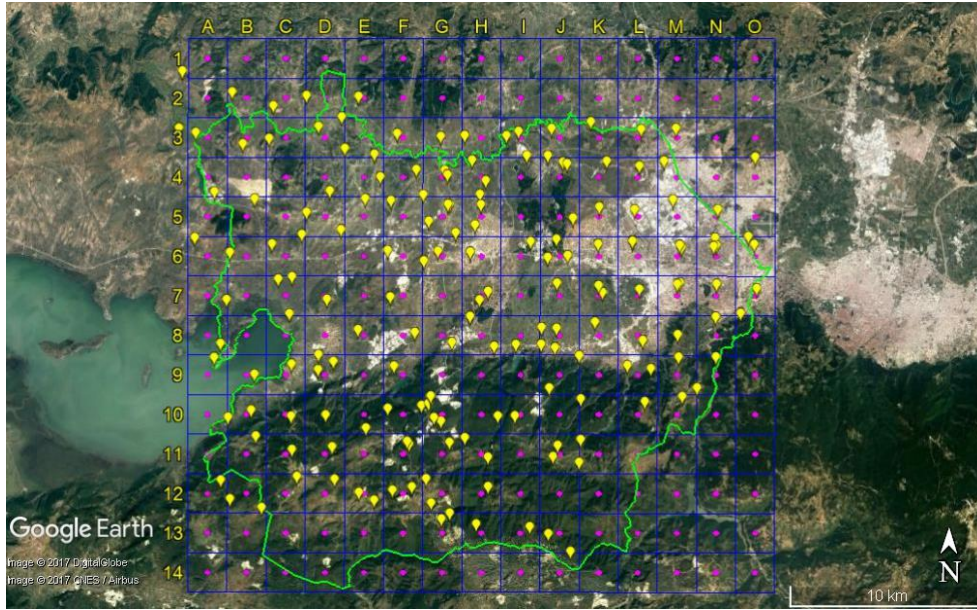
SQM cihazından okunan değerlerin karşılık geldiği yerleşim yerleri şu şekildedir:

Sınıf	Açıklama	SQM (kadir/açısanıye ²)
1	Mükemmel (ideal) gökyüzü	21,7 – 22,0
2	Tipik karanlık gökyüzü	21,5 – 21,7
3	Kırsal	21,3 – 21,5
4	Kırsal/banliyö geçişi	20,4 – 21,3
5	Banliyö	19,1 – 20,4
6	Parlak banliyö	18,0 – 19,1
7	Banliyö/şehir geçişi	
8	Şehir	<18,0
9	Şehir merkezi	



Ölçümler ve Haritalama

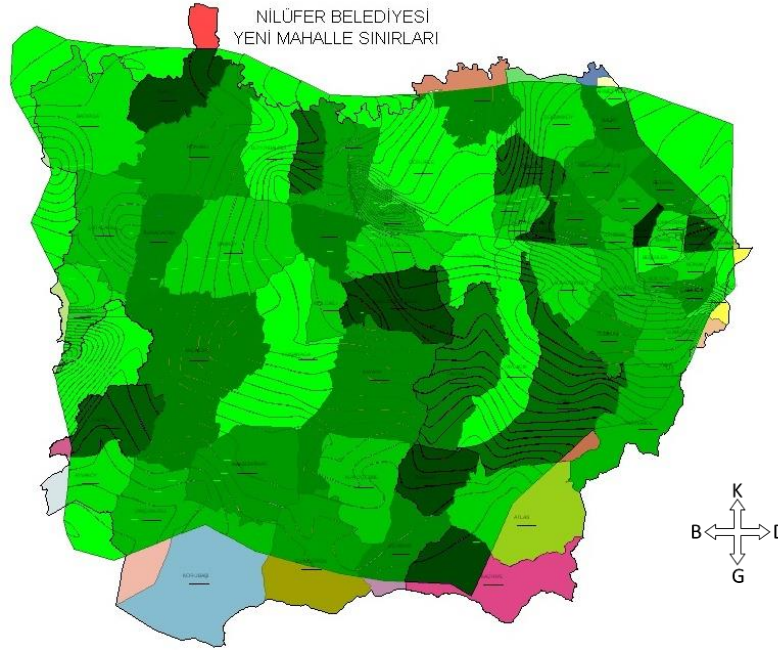
Proje ortağı katılımcı kurum ve kuruluşlarda görevli kişilerden oluşturulan 4 (dört) grup, ardışık 6 (altı) gecede toplam 171 (yüz yetmiş bir) farklı noktada ölçümler yapılarak veriler kayıt altına alınmıştır. Ekiplerin gece ölçüm yaparken çekilmiş fotoğraflarından ve ölçüm noktalarından çekilen fotoğraflardan örnekler Ek-2’de verilmiştir. Ölçüm alınan her noktada, başucu doğrultusunda en az beş defa gökyüzü parlaklığı değeri okunmuş ve bu değerlerin ortalaması (duruma göre en çok okunan değer) o koordinat için okunan değer olarak atanmıştır. Ölçüm yapılan her noktanın koordinatları (GPS değerleri; enlem, boylam bilgileri) ayrıca kaydedilmiş ve haritalamada kullanılmak üzere sonradan bilgisayara aktarılarak ölçüm verileriyle eşleştirilmiştir. Şekil 11’de ölçüm alınan noktaların harita üzerindeki konumları gösterilmiştir. Ölçüm verileri ayrıca Ek-3’de tablo olarak verilmiştir.



Şekil 11. Şekil 9’da verilen harita üzerine bindirilmiş ölçüm alınan noktalar (sarı damlalar).

Arazide okunan GPS değerlerine göre, her ölçüm noktası için atanan değerler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı kullanılarak yapılandırılan veritabanı etkileşimli sayısal haritada konumlandırılmıştır. Alınan her ölçümün, ait olduğu kare alanın ışık kirliliğini temsil ettiği düşünüldüğünde, daha ayrıntılı değerlendirme yapabilmek için, istatistiksel algoritmalar uygulanarak bir dağılım haritası elde edilmiş ve sonuçlar eş parlaklık eğrileri olarak gösterilmiştir. Sonuçlar Nilüfer Belediyesi yeni mahalle sınırlarını gösteren siyasi harita üzerine yerleştirilerek Şekil 12’de gösterilmiştir. Şekilde yeşil fon rengiyle görünen bölge,

ölçüm noktalarının birbirleriyle ilişkisinin üç noktalı üçgenler oluşturularak bulunduğu bölgeyi ve siyah çizgiler ise aynı parlaklık değerine sahip bölgeleri göstermektedir.

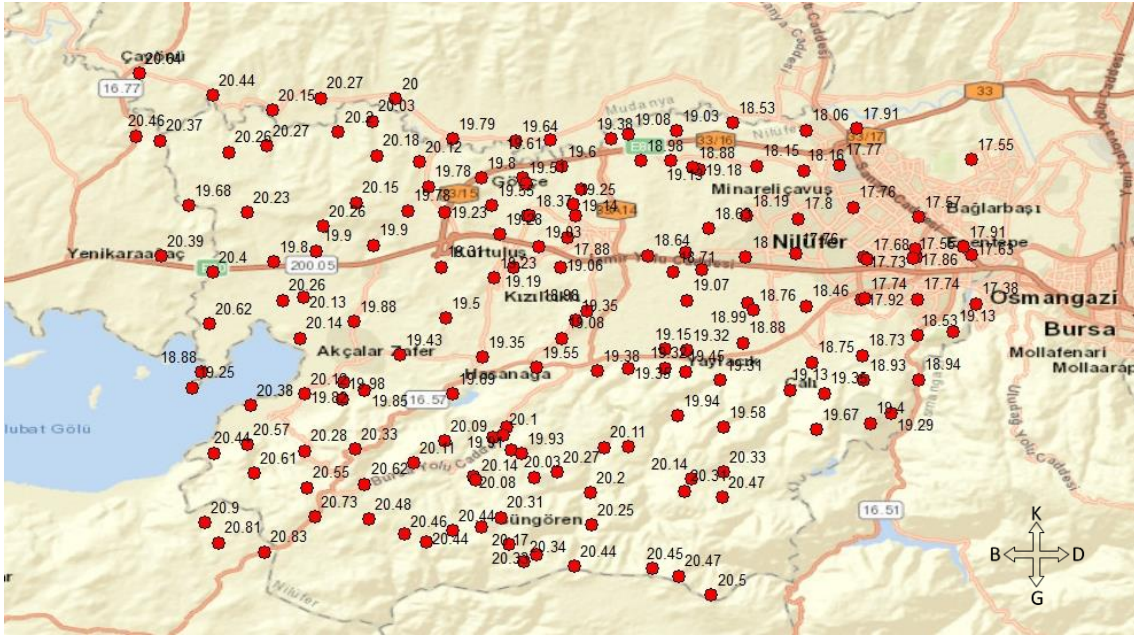


Şekil 12. Nilüfer Belediyesi yeni mahalle sınırlarını gösteren siyasi harita üzerinde gösterilen ölçüm verilerinden elde edilen çalışma alanı (yeşil fon) ve eş parlaklık eğrileri (siyah çizgiler).

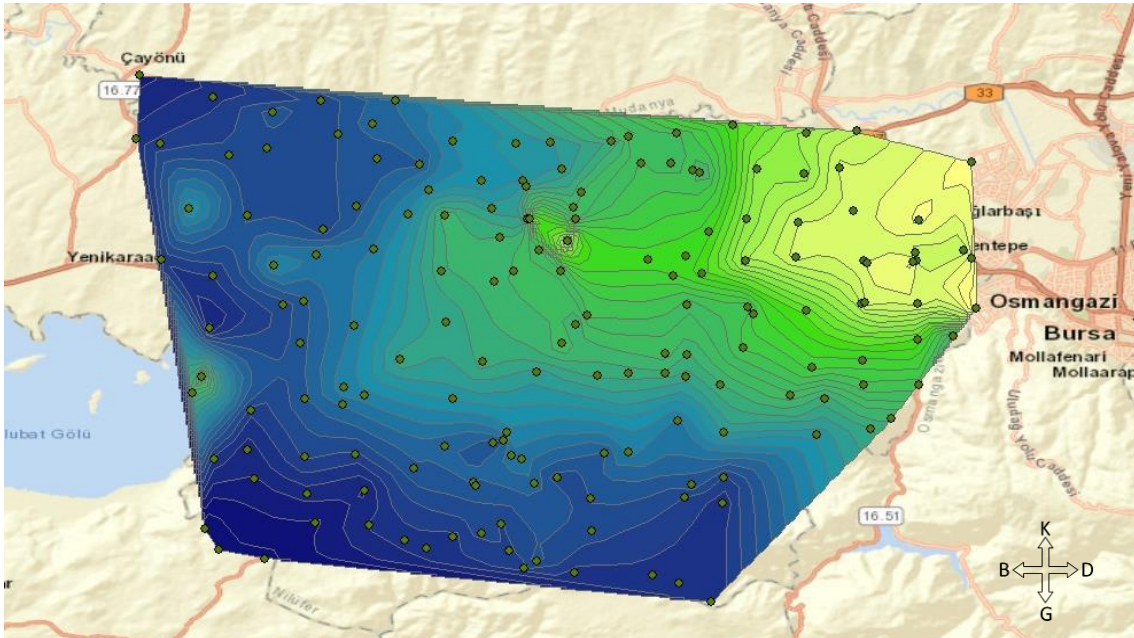
Kaydedilen gökyüzü parlaklık değerleri, bir başka CBS yazılımı kullanılarak sayısal harita üzerindeki konumlarına göre aynı anda görüntülenerek kıyaslanabilmesi sağlanmıştır. Alınan ölçümlerin konumlarının ve okunan değerlerin gösterildiği harita Şekil 13'de verilmiştir. Nilüfer ilçesinde okunan en aydınlık ve en karanlık yerlere karşılık gelen değerler sırasıyla 17,38 kadir/açısanıye² ve 20,90 kadir/açısanıye²'dir. Alınan her ölçümün ait olduğu kare alanın (grid) ışık kirliliğini temsil ettiği düşünüldüğünde, çözünürlüğü düşük olan bir dağılım haritası elde edilmektedir. Bu nedenle farklılıkların daha ayrıntılı değerlendirilebilmesi için *en yakın komşuluk* olarak bilinen bir istatistiksel algoritma uygulanarak bir dağılım haritası elde edilmiştir. En düşük ve en yüksek değerler arasının 0,10 basamaklara bölünerek renk kodlaması yapılan *eş parlaklık eğrileri* Şekil 14'de gösterilmiştir. Ölçüm değerleri içinde kalacak şekilde, haritada sarı renk en aydınlık, koyu mavi renk ise en karanlık yerleri göstermektedir. Bu şekildeki gösterim, gece gökyüzü parlaklığının ilçe boyunca nasıl değiştiğini net bir şekilde göstermektedir. Yapılan ölçümlerden elde edilen değerlere ve aşağıda verilen haritalara (Şekil 13 – 15) bakıldığında şu sonuçlar çıkmaktadır:

- Çalışma alanının kuzey-doğusu gökyüzü parlaklığının en fazla olduğu bölgedir. Burası nüfus yoğunluğunun ve yerleşim yerlerinin en yoğun olduğu, Nilüfer ilçe merkezi

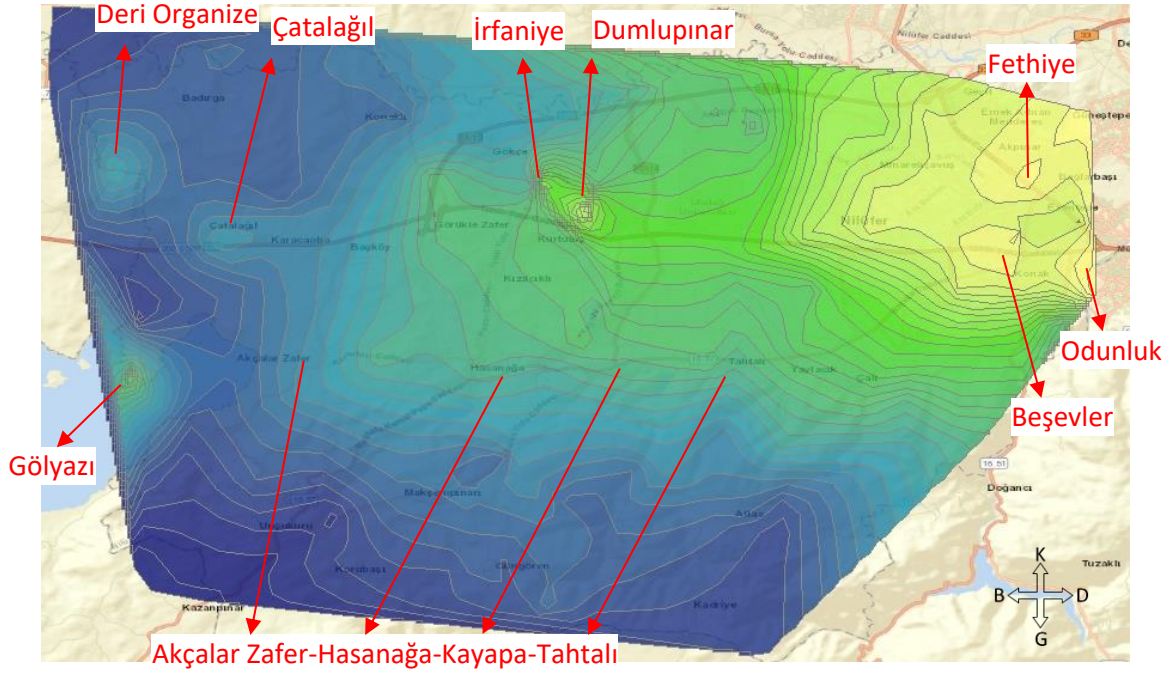
olarak adlandırılabilir yerlerdir.



Şekil 13. Gece gökyüzü parlaklığı ölçüm noktaları ve SQM değerleri. Ölçülen en düşük (aydınlık) değer 17,38 kadir/açısanıye², en büyük (karanlık) değer ise 20,90 kadir/açısanıye².



Şekil 14. Ölçüm değerleri kullanılarak üretilmiş eş parlaklık eğrileri. Ölçülen en düşük (aydınlık) değer 17,38 kadir/açısanıye² ve en büyük (karanlık) değer 20,90 kadir/açısanıye² aralığı 0,10 basamaklara bölünerek renk kodlaması yapılmıştır.



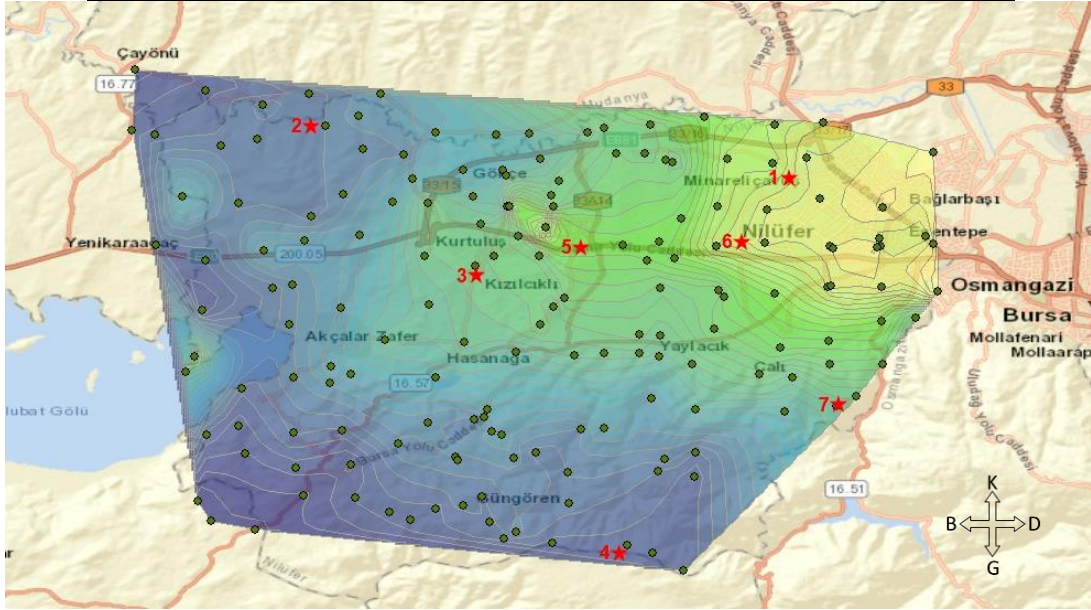
Şekil 15. Nilüfer ilçesi gece gökyüzü parlaklığı için eş parlaklık eğrileri. Ölçüm noktaları çıkartılmış ve konumların daha iyi anlaşılabilmesi için gökyüzü parlaklığının dağılım haritası %20 geçirgenlikle gösterilmiştir.

- Özellikle Fethiye, Beşevler ve Odunluk'un kuzeyinde yer alan bölgeler en aydınlık olarak kendisini göstermekte ve buraların komşuluğundaki Esentepe, Cumhuriyet, İhsaniye, Konak gibi mahallelerde de düşük değerler kaydedilmiş yani yüksek aydınlık seviyesi tespit edilmiştir.
- Gece gökyüzü parlaklığı ilçe merkezinden batı yönüne doğru gidildikçe kademeli bir şekilde azalmaktadır.
- Göreli olarak aydınlık gökyüzü İzmir yolu boyunca hem kuzey hem de güney yönlerinde geniş bir şerit olarak devam etmektedir. Azalarak devam etmekle birlikte güneyde, Tahtalı-Kayapa-Hasanağa-Akçalar Zafer hattına kadar kendini belli etmektedir.
- Ortada Dumlupınar ve İrfaniye, batıda Çatalağıl, Deri Organize Bölgesi ve Gölyazı buldukları bölgelerde "sıcak nokta" olarak kendilerini göstermektedir.
- İlçenin güneyinden batısına doğru uzanan ormanlık arazide kurulu çok sayıda taş ocaklarının varlığı bölgenin karanlık seviyesinde (gökyüzü parlaklığında) dalgalanmalara sebep olmaktadır.
- Gökyüzünün en karanlık olduğu yerler (>20,80 kadir/açısanıye²) ilçenin en güney-batısında Unçukuru-Kazanpınar komşuluğundadır.

Açı Bağımlı Ölçümler

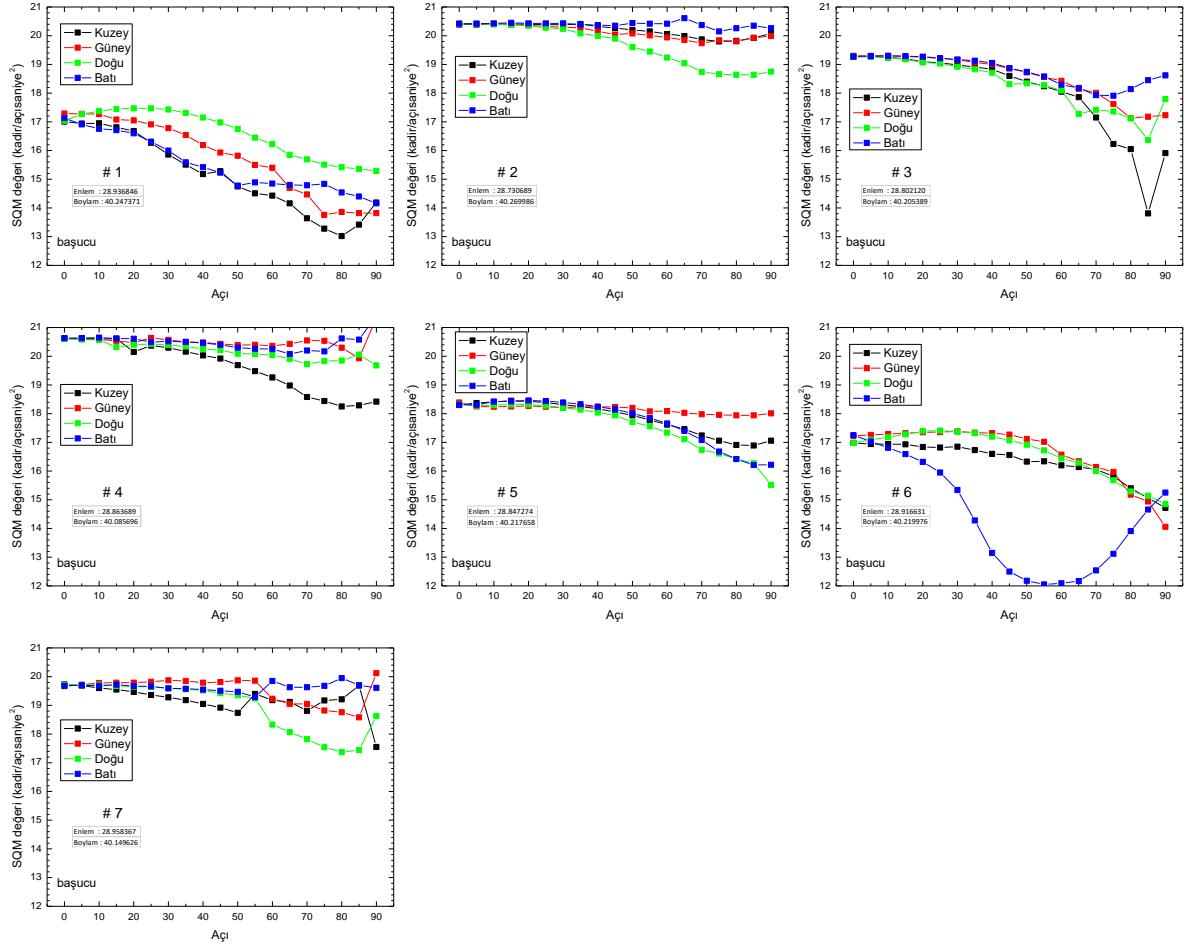
Ayrıntılarından daha sonra bahsedilecek olan enerji kaybı hesabının yapılabilmesi için geliştirilen modelde kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan açı bağımlı ölçümler 7 (yedi) farklı noktada yapılmıştır (Şekil 16). Ölçümler başucu (0°) ve ufuk (90°) arasında 5°lik basamaklarla dört ana yönde (doğu, batı, kuzey, güney) olacak şekilde ardışık iki gecede (18-19 Eylül 2017) yapılmıştır. Her yön/açı değeri için beş defa gökyüzü parlaklığı değeri okunmuş ve bu değerlerin ortalaması (duruma göre en çok okunan değer) o yön/açı için okunan değer olarak atanmıştır. Bu işlem için toplamda 2660 veri kaydedilmiştir.

Ölçüm	Enlem	Boylam	Yer Bilgisi
# 1	28,936846	40,247371	Minareli Çavuş
# 2	28,730689	40,269986	Çaylı-Badırga arası
# 3	28,802120	40,205389	Hasanağa TOKİ konutları
# 4	28,863689	40,085696	Kadriye Köyü üsteleri
# 5	28,847274	40,217658	Görükle İstikbal plaza terası
# 6	28,916631	40,219976	Ertuğrul, Viaport terası
# 7	28,958367	40,149626	Dağyenice Köyü üstleri



Şekil 16. Açı bağımlı ölçümlerin yapıldığı konumlar.

Konumları Şekil 16'da gösterilen noktalarda yapılan ölçümler sonucunda elde edilen gökyüzü parlaklığının açı bağımlılıklarını gösteren grafikler Şekil 17'de verilmiştir. Farklı noktalar arasındaki kıyaslanmanın daha rahat yapılabilmesi için bütün grafikler aynı ölçekte çizilmiştir. Gökyüzü parlaklığının görece olarak yüksek olduğu yerlerdeki açı ve yön bağımlılığı, karanlık yerlerdekine kıyasla daha çoktur. Veriler karşılaştırmalı olarak ve alan bilgileri düşünülerek değerlendirildiğinde grafiklerdeki davranışlar uyumlu sonuçlar göstermektedir.



Şekil 17. Gece gökyüzü parlaklığının dört ana yöndeki başucu-ufuk arasındaki açı bağımlılığı. Farklı noktalar arasındaki kıyaslanmanın daha rahat yapılabilmesi için bütün grafikler aynı ölçekte çizilmiştir.

Kaybolan Işık Miktarı

Nilüfer ilçesi üzerindeki gece gökyüzü parlaklık dağılımının gösterildiği harita ve bilgileri kullanarak, yanlış aydınlatmadan kaynaklı olarak gökyüzüne kaçırdığımız, boşuna harcanan toplam ışık miktarı şu şekilde hesaplanır:

Önceden bahsedildiği gibi SQM cihazı tepe açısı $A = 20^\circ$ olan koni içine düşen ışık miktarını kadir bölü açısaniye kare (kadir/açısaniye²) cinsinden ölçer. Ölçülen bu değer kullanılarak birim alana düşen ışık miktarı (*Parlaklık*) daha bilinen bir birim cinsinden yazılabilir.

$$L = 10,8 \times 10^4 \times 10^{-0,4m} \quad (1)$$

L: Parlaklık – *kandela/metre*² (cd/m²)

m: SQM cihazından okunan gökyüzü parlaklığı – *kadir/açısaniye*²

Buna karşılık gelen *Aydınlanma* yani birim yüzeye gelen ışık akısı

$$E = L \Omega = 10,8 \times 10^4 \times 10^{-0,4m} \times \iint \sin\theta \, d\theta \, d\phi \quad (2)$$

formülüyle bulunur. Burada

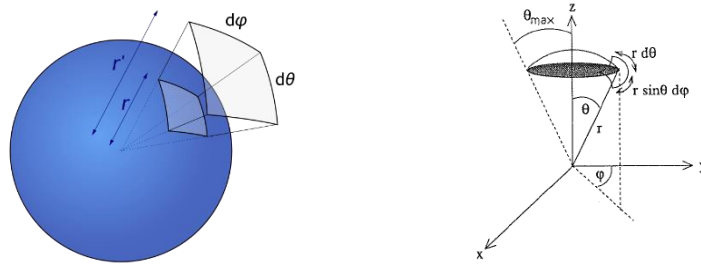
E: Aydınlanma – *lümen/metre²* (lm/m²) ve

$$\Omega = \iint \sin\theta \, d\theta \, d\phi = \int_{\phi_1}^{\phi_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta \, d\theta \, d\phi \quad (3)$$

ise ölçüm cihazının görüş konisine karşılık gelen katı açıdır. Burada θ ve ϕ açılarının küresel koordinatlarda hangi açılara karşılık geldiği Şekil 18’de gösterilmiştir. Gökyüzü parlaklığının tüm açı ve yönlerde aynı olduğu durumda, görüş alanı düzgün dağılımlı yarım küre olacağından aydınlanma hesabında katı açı değeri

$$\Omega = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi/2} \sin\theta \, d\theta = 2\pi \quad (4)$$

olur. Işık kirliliğinin olduğu yerleşim yerlerinde ise bu durum genellikle geçerli değildir; başucu doğrultusundaki parlaklık ufuk çizgisine doğru gidildikçe artma gösterir (θ açısının değişimi). Buna ek olarak, açı aynı olsa bile yöne bağlı olarak da okunan değer değişiklik gösterebilir (ϕ açısının değişimi). Bu durumda, başucu doğrultusunda okunan SQM değerinin kullanılmasıyla bulunan aydınlanma değerleri *en düşük* değerlerdir ve açı+yön bağımlı ölçümlerden elde edilen bilgiyle güncellenmesi gerekir.



Şekil 18. Katı açı ve küresel koordinat sisteminde açıların gösterimi.

Eş parlaklık eğrilerinin gösterildiği (yani gece gökyüzü parlaklığının Nilüfer ilçesindeki dağılımını) gösteren haritalardan her SQM değerine karşılık gelen alan değerleri bulunabilmektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi gökyüzü parlaklığının tüm açı ve yönlerde aynı olduğu durum için toplam kaybolan toplam ışık akısını bulmak için Denklem 2’den elde edilen birim alandaki ışık akısı (lm/m²) değerlerinin bu alanlarla çarpılmaları gerekir. Elde edilen

dağılım haritasından alanları farklı olan toplam 84 eş-parlaklık yüzeyi elde edilmiştir. Her bir bölge için lümen cinsinden ışık akısı

$$\Phi_{0i} = E_{0i} A_i \quad (5)$$

burada A_i ininci bölgenin yüzey alanı ve E_{0i} ise buna karşılık gelen SQM değerinden yukarıda açıklandığı şekilde elde edilen *en düşük* aydınlanma değeridir (açı bağımlılığının etkisinin ihmal edildiği durum). Buna göre, bütün yönlerdeki toplam en düşük (minimum) ışık akısı

$$\Phi_{\text{toplam,min}} = \Phi_0 = \sum_{i=1}^{84} E_{0i} A_i \quad (6)$$

şeklinde hesaplanır. Ek-4'de bahsedilen değerler ve hesaplama tablosu verilmiştir. Buna göre Nilüfer ilçesi için toplam ışık akısının en düşük değeri $\Phi_{\text{toplam}} \sim 7,73 \times 10^6$ lm olarak elde edilir. Burada dikkat edilecek önemli nokta ölçüm yöntemidir; SQM ile okunan değer, doğrudan uzaya kaçan (kaybolan) ışık miktarı değil, atmosferden saçılıp geri gelen ışık miktarıdır. Atmosfer geçirgenliği %73 olduğuna göre toplam (uzaya kaçan ve atmosferden geri saçılan) kaybın bulunan bu değer 3,7 katıdır. Bu durumda, $\Phi_{\text{toplam,min}} \sim 2,86 \times 10^7$ lm olur.

Şekil 17'de verilen grafiklerinde gösterdiği gibi Nilüfer ilçesi, gece gökyüzü parlaklığının tüm açı ve yönlerde aynı olduğu bir durum göstermemektedir: ölçümler, alındığı yere (konum), yöne (φ) ve açığa (θ) bağlı farklılıklar göstermektedir. Yani, SQM cihazı ile okunan Denklem 1'deki m değeri θ ve φ bağımlı bir fonksiyondur; $m = m(\theta, \varphi)$. Bu durumda yukarıda hesaplanan ışık akısı değerlerine bu bağımlılıkların eklenerek işlemler güncellenirse aydınlanma

$$E = \iint L(\theta, \varphi) \Omega(\theta, \varphi) = 10,8 \times 10^4 \times \iint 10^{-0,4m(\theta, \varphi)} \sin\theta \, d\theta \, d\varphi \quad (7)$$

olarak yazılır. Ölçüm cihazının yönü aynı kalacak şekilde (sabit φ açısı) başucundan ufka kadar olan bölge tarandığı durumda (θ açısının değiştiği) Şekil 19'da koyu renkle taranmış dikey şerit taranmış olur. Ölçüm cihazının görüş konisinin tepe açısı $A = 20^\circ$ olduğuna göre en basit haliyle taralı dikey şerit içindeki toplam aydınlanma şu şekilde yazılır;

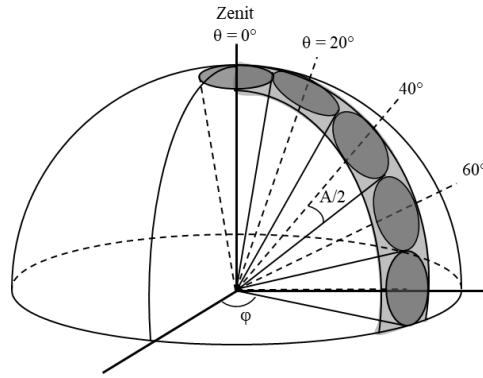
$$E(\varphi) = L(0, \varphi) \Omega_0 + L(20, \varphi) \delta\Omega_{20} + L(40, \varphi) \delta\Omega_{40} + L(60, \varphi) \delta\Omega_{60} + L(80, \varphi) \delta\Omega_{80} \quad (8)$$

Burada örnek olması bakımından

$$L(20, \varphi) \delta\Omega_{20} = \int_{\varphi=0^\circ}^{\varphi=20^\circ} \int_{\theta=10^\circ}^{\theta=30^\circ} L(20) \sin\theta \, d\theta \, d\varphi = \frac{\pi}{9} L(20)(\cos 10 - \cos 30) \quad (9a)$$

$$L(60, \varphi) \delta\Omega_{60} = \int_{\varphi=0^{\circ}}^{\varphi=20^{\circ}} \int_{\theta=50^{\circ}}^{\theta=70^{\circ}} L(60) \sin\theta \, d\theta \, d\varphi = \frac{\pi}{9} L(60)(\cos 50 - \cos 70) \quad (9b)$$

olduğunu yazmakta fayda vardır. Şekil 17’deki grafiklerden görüldüğü gibi bu çalışmada daha hassas hesap yapabilmek için ölçüm cihazının gördüğü açıdan daha küçük basamaklarda tarama yapılmıştır. Başucundan ufka kadar olan 90°lik açı 5° basamaklarla tarandığından Denklem 8’deki basamaklar 5° olarak yazılıp toplama işlemi yapılır. Ancak, φ açısı bağımlılığı hassas olarak ölçülmemiş, sadece dört ana yönde ölçüm alınmıştır. Hesaplar için hassas bir φ bağımlılığı yazılmadığından yaklaşımlar kullanarak işlemlere devam edilmiştir.



Şekil 19. Işık kirliliği olan yerleşim yerleri için geliştirdiğimiz modelde kullanılan katı açının şematik gösterimi.

Analizlerde başucundan ufka kadar olan açı değişiminin etkisini anlayabilmek için bu etkiyi bir katsayı olarak tanımlayabilir ve yapılan ölçümlerle de bu katsayının büyüklüğünü bulabiliriz. Bu durum,

$$E = k E_0 \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada E açısı etkisi dâhil aydınlanma, E_0 yukarıda bahsedildiği gibi bütün açılarda başucunda okunan değer geçeri olduğu varsayımıyla bulunan en düşük aydınlanma değeri ve k ise açı etkisini gösteren katsayıdır. Denklem 5’de verilen her bir bölge için lümen cinsinden ışık akısı ise açı bağımlılığının etkisinin dâhil edildiği durumda

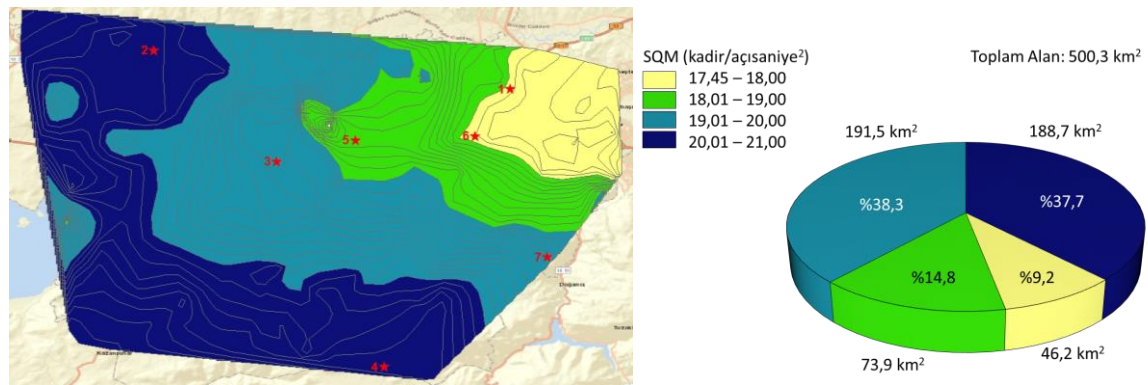
$$\Phi_i = k_i \Phi_{0i} = k_i E_{0i} A_i \quad (5)$$

şeklinde yazılır. Şekil 17’de grafiklerde verilen açı bağımlı ölçümlerin yapıldığı her konum için dört ana yönde Şekil 19’da gösterildiği gibi bir şerit üzerinden hesaplanan k katsayı değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Yön \ Konum	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
Doğu	2,40	3,05	4,62	1,65	3,03	2,14	3,94
Batı	7,31	1,04	2,14	1,28	2,68	56,97	1,05
Kuzey	15,11	1,33	18,87	4,33	2,06	1,67	1,69
Güney	10,48	1,48	3,09	1,23	1,32	2,67	1,48

Şekil 17 ve tablodaki değerler incelendiğinde Nilüfer ilçesindeki açı bağımlılığı bölgelere bağlı olarak değişim göstermektedir. Proje kapsamındaki ölçümlerde φ açı bağımlılığı yeterince hassas yapılmadığından, açı bağımlı ölçümlerin yapıldığı yerler ve buralarda yönle ilgili olarak bulunan k katsayısının değişimleri göz önüne alınarak tüm ölçüm aralığı 4 (dört) bölgeye ayrılmış ve her bölge için farklı k çarpanları kullanılarak son değerlere ulaşılmıştır. SQM okuma değerinin düşük olduğu yani gök parlaklığının görece olarak fazla olduğu yerlerdeki açı bağımlılık katsayısı parlaklığın az olduğu yerlere kıyasla daha etkindir. Yapılan gruplandırma sonucunda elde edilen değerler aşağıdaki tabloda ve bunların dağılımları da Şekil 20’de gösterilmiştir.

Konum	SQM aralığı (kadir/açısanıye ²)	Alan (km ²)	Işık akısı, Φ_0 (milyon lümen)	Ortalama Katsayı, k	Işık akısı, Φ (milyon lümen)
#1, #6	<18	46,2	2,53	5,54	14,02
#5	18 – 19	73,9	2,05	2,27	4,65
#3, #7	19 – 20	191,5	2,13	3,13	6,67
#2, #4	>20	188,7	1,01	1,93	1,95
TOPLAM		500,3	7,72		27,29



Şekil 20. Nilüfer ilçesi gökyüzü parlaklığının dört bölgeye bölünmüş dağılımı ve bunlara karşılık gelen yüzey alanları ile toplam yüzey alanına oranları.

Açı bağımlılığın eklenmesiyle boşa giden ışık akısı (atmosferden geri saçılan) değeri 27,29 milyon lümen (megalümen) olarak bulunmuştur. Atmosfer geçirgenlik etkisi de düşünüldüğünde yanlış aydınlatmadan kaynaklanan **uzaya kaçan ışık akısı 101 milyon lümen** ($1,01 \times 10^8$ lm) olarak bulunur.

Nilüfer ilçesinin 2016 yılı verilerine göre nüfusu 415.818 kişidir. Buna göre anlık olarak kişi başına kayıp miktarı ~243 lm olarak bulunur ve bu değer yıllık olarak düşünüldüğünde 0,89 megalümen-saat (Mlm-h) olur.

Şehir aydınlatmalarında genel olarak düşük ve yüksek basınçlı sodyum lambaları (DBS ve YBS), metal tuzu lambalar, floresan lambalar ve özellikle son yıllarda artan bir şekilde LED lambalar kullanılır. Aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi bu lambaların tükettikleri birim güç başına ürettikleri ışık miktarları yani etkinlik değerleri farklılık gösterir.

Lamba Cinsi	Işık Etkinliği (lm/W)	Işık Verimliliği (%)
Akkor	7 – 12	1 – 2
Tungsten Halojen	12 – 20	2 – 3
Floresan	45 – 100	6 – 15
LED	20 – 100 – 200	3 – 15 – 29
Metal Halide	90 – 135	13 – 20
YB Sodyum	85 – 150	12 – 22
DB Sodyum	100 – 200	15 – 29

Nilüfer ilçesinde kullanılan lamba türlerinin ve sayılarının ayrıntılı bilgisine ulaşamamakla birlikte Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş.’den temin ettiğimiz şu bilgiler doğrultusunda hesaplamalar yapıldı.

- Nilüfer İşletme müdürlüğüne kayıtlı 27.530 adet YBS lambası var.
 - 70 W gücündeki YBS 6500 lümen ışık üretiyor: 93 lm/W
 - 100 W gücündeki YBS 10000 lümen ışık üretiyor: 100 lm/W
 - 150 W gücündeki YBS 17000 lümen ışık üretiyor: 113 lm/W
 - 250 W gücündeki YBS 33000 lümen ışık üretiyor: 132 lm/W
- 2017/11. Dönem kayıtlarına göre 1.857.342,68 kWh aktif tüketim ve bunun karşılığı olarak da 709.432,00 TL bedel var.
- Aydınlatmalar gece boyunca aktif durumda.
- Elektrik tüketimi (Nilüfer Belediyesi’nden);
 - Sanayi Hariç; 790 kWh/Yıl.Kişi
 - Sanayi Dahil; 3.993 kWh/Yıl.Kişi
 - Sanayi Hariç; 1.896 kWh/Yıl.Hane
 - Sanayi Dahil; 9.583 kWh/Yıl.Hane

Bu bilgiler doğrultusunda Nilüfer ilçesinde dış aydınlatmalarda kullanılan lambalar için ortalama etkinlik değeri olarak 100 lm/W kullanılırsa, toplam kaybolan ışık akısının (101 Mlm) anlık olarak 1010 kW güce denk olduğu bulunur. Aydınlatmaların günde 12 saat çalıştıkları düşünülürse kayıp miktarı 363.600 kWh/ay olarak bulunur. Bu değer genel aydınlatma kapsamındaki abonelerin kullandığı elektrik tüketiminin (1.857.342,68 kWh/ay) %19,6'sına karşılık gelir. Yani **aylık tüketimin yaklaşık %20'si yanlış aydınlatma nedeniyle boşa gitmektedir.**

Sanayi hariç elektrik tüketimi hane başına 158 kWh/ay olduğuna göre, bu **kayıp her ay 2300 hanenin toplam elektrik tüketime karşılık gelir.**

Tahmini Mali Kayıp

Yukarıda verilen rakamlardan elektrik tüketiminin mali karşılığı Kasım ayı için 0,382 TL/kWh olduğu anlaşılmaktadır. Bu değeri ~0,40 TL/kWh olarak kabul edersek, toplam ışık kaybının mali değeri; $(363.600 \text{ kWh/ay}) \times (12 \text{ ay/yıl}) \times (0,40 \text{ TL/kWh}) = \mathbf{1.745.280 \text{ TL/yıl}}$ olarak bulunur.

SONUÇ

Bu projede, Bursa ili Nilüfer ilçesinde gece gökyüzü parlaklığı ölçümleri yapılarak bölgenin ışık kirliliği haritası çıkartılmış ve yanlış aydınlatmadan kaynaklanan enerji kaybı hesaplanmıştır. Projedeki önemli noktalar ve elde edilen sonuçlar şu şekilde maddelere halinde yazılabilir;

- 13-18 Eylül 2017 gecelerinde toplam 171 (yüz yetmiş bir) farklı noktada başucu doğrultusunda ölçümler yapılarak veriler kayıt altına alınmıştır.
- 18-19 Eylül 2017 gecelerinde 7 (yedi) farklı noktada dört ana yönde (doğu, batı, kuzey, güney) açı bağımlı ölçümler (başucu-ufuk arası) yapılmıştır.
- Tüm veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) programına aktarılarak analizler yapılmış ve gece gökyüzü parlaklığı için eş-parlaklık eğrileri oluşturulmuştur.
- Yanlış aydınlatmadan kaynaklanan kaybolan ışığın;

- 0,89 megalümen-saat/yıl.kişi
- 101 megalümen/yıl
- 363.600 kWh/ay \Rightarrow 4.363.200 kWh/yıl
- Aylık toplam tüketimin yaklaşık %20'sine eşit,
- Her ay 2300 hanenin toplam elektrik tüketimine eşit,
- 1,75 milyon TL/yıl

olduğu bulunmuştur.

EK-1: ÖLÇÜMLERDE DİKKAT EDİLECEK HUSUSLAR

SQM-LU cihazı ile gece gökyüzü parlaklığı (ışık kirliliği) ölçümleri yapılırken bilinmesi gerekenleri ve dikkat edilecek unsurları şöyle sıralayabiliriz:

1. Ölçümler, astronomik tan dışında kalan zaman diliminde ve ayın olmadığı durumlarda yapılmalıdır. Bu zamanların belirlenmesi için, hazırlanan diğer dokümana bakabilirsiniz.
2. Şehir içinde (yerleşim yerlerinde) birden fazla noktada yapılacak ölçümler (haritalama amaçlı ölçümler) tercihen aynı gecede yapılmalıdır. Ölçümlerin bitmediği, aynı gecede yapılamadığı durumlarda yine tercihen ardışık günler seçilmelidir.
3. Şehir aydınlatmasındaki saate bağlı etkilerin asgaride tutulabilmesi için, ölçüm zamanı bulunulan yere ve mevsime göre sınırlandırılmalı, belli bir saatten sonra ölçüm alınmamalıdır. (Örnek: Eskişehir kent merkezinde Nisan ayında yapılan ölçümler saat 21:00 – 24:00 arasında sınırlandırılmıştır.)
4. Bulutluluk oranı göz önünde bulundurulmalı; ölçümler bulutsuz ve açık havada yapılmalıdır. Ölçüm alınan bölgeden uzakta görünen hafif bulutluluk durumunda da ölçüm alınabilir ancak bu durum ölçüm dosyasına not olarak kaydedilmelidir.
5. Ölçüm cihazı (SQM-LU) doğrudan başucuna bakacak şekilde yere dik olarak tutulmalı ve üzerine doğrudan ışık gelmediğinden emin olunmalıdır. Ölçüm cihazı, 20 derecelik koni içinde kalan bölgeden gelen ışıkları toplamaktadır.
6. Ölçümler, cihazın görüş açısına giren yüksek ağaçların ve/veya binaların yakınlarında alınmamalı, mümkün oldukça açık alanlar aranmalıdır.
7. Ölçüm cihazının ön tarafındaki pencere temiz olmalı, üzerinde parmak izi veya benzeri lekeler olmamalıdır. Ön pencerenin temizliği yumuşak dokulu bir bez ile bastırılmadan yapılabilir.
8. Ölçüm alınacak noktalara dair önceden bir haritada bölme/kareleme yapılmış ise, her ölçüm karesinin orta koordinatına ulaşılabilir en yakın koordinat, ölçüm noktası olarak seçilmeye özen gösterilmelidir. Bu durum özellikle görelî olarak büyük olan kent merkezlerinde zor olabilir.
9. Okul bahçelerinde alınacak ölçümler için, okulun kontrolündeki projektör benzeri yüksek şiddetli aydınlatmalarının kapatılması/kapattırılması düşünülmelidir.

10. Ölçüm yapılan her noktanın enlem ve boylam bilgileri kaydedilmeli, ölçüm sonuçları bu bilgi ile eşleştirilmelidir. Bu amaçla, ayrı bir GPS veya akıllı telefonlardaki GPS'ler kullanılabilir. Bunun yapılamadığı durumlarda ise harita üzerinde ölçüm alınan noktalar işaretlenebilir ve sonra Google Haritası kullanılarak o noktanın enlem/boylam bilgisi bulunabilir.
11. Aydınlatmaların doğrudan etkisinden olabildiğince uzak koordinatlardan (örneğin şehrin dış mahallesinden ya da şehir dışından) ölçüm alınırken, otomobil, fasılalı yanıp sönen bozuk aydınlatmalar gibi sürekliliği olmayan geçici aydınlanmaların olmadığı zamanlarda ölçüm alınmaya çalışılmalıdır.
12. Her ölçüm noktasında, en az 5-6 defa aralıklarla ölçüm alınmalıdır. Ölçümler arasında en az 3 saniye zaman olmasına dikkat edilmelidir.
13. Cihazdan okunan ilk 1-2 ölçüm değeri güvenilir olmayabilir. Özellikle çok ışığa maruz kalan cihazların yeniden doğru değer okumaları için birkaç veri okuması yapılması gerekmektedir.
14. SQM cihazının okuduğu değer, ortamdaki aydınlık miktarı artıkça azalmaktadır. Yani karanlık arttıkça okunan değer arttığından “karanlık miktarının ölçülmesi” olarak düşünülebilir.
15. Ölçümlerin yapılmasındaki amaç, en karanlık noktanın bulunması değil, var olan durumun doğru olarak ölçülmesi olduğu unutulmamalıdır.

EK-2: ÖRNEK FOTOĞRAFLAR



EKİP #1



EKİP #2



EKİP #3



EKİP #4

Ekip #1: Azize ÇAKICI, Zerrin GÜLEŞ, Yusuf ERBİL

Ekip #2: Canan BİLGİ, Korhan KANDİL, Özgür Ece VARDAR

Ekip #3: İlhan VARDAR, Cem ÖZKAN, Şenol ŞANLI

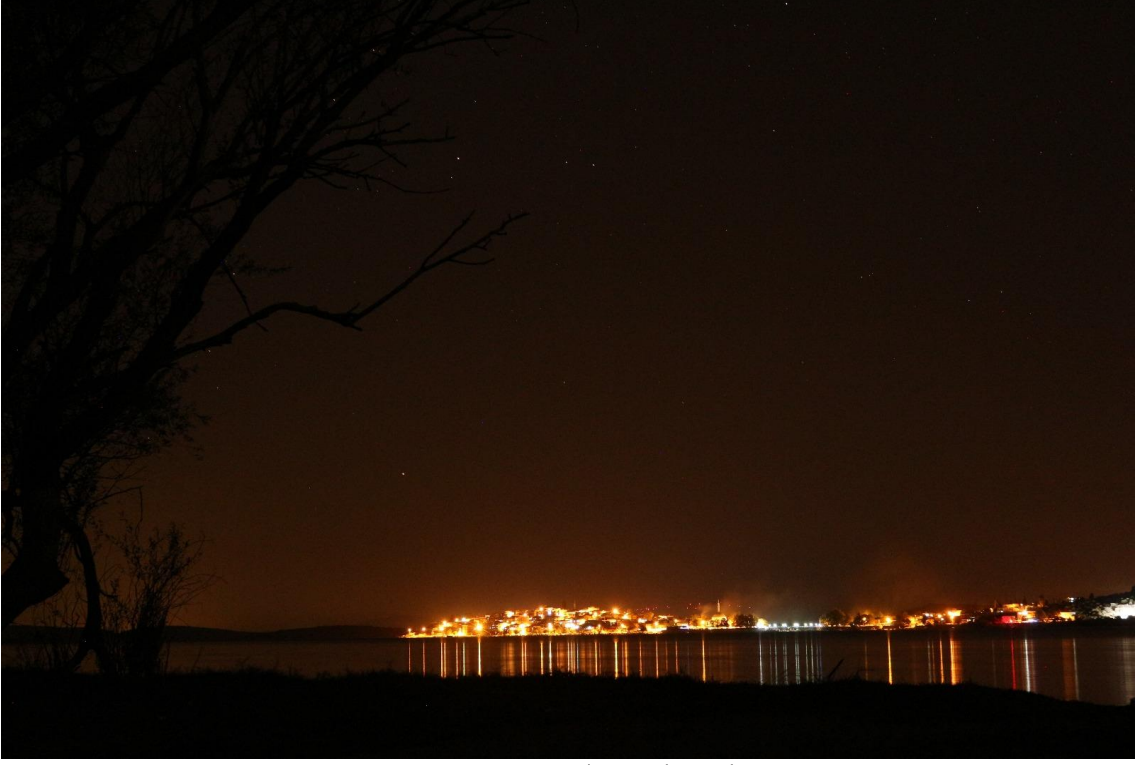
Ekip #4: Uğur İKİZLER, Zerrin ÖZEL, Ercan ERBAŞ

Açı bağımlı ölçümler:



Uğur İKİZLER, Korhan KANDİL, Ercan ERBAŞ





15 Eylül 2017 / Şenol Şanlı
Enlem: 40,1561 / Boylam: 28,7008
Fadıllı Köyü göl kenarından Gölyazı: Yerleşim yerleri üstündeki ışık kubbesi!



15 Eylül 2017 / Şenol Şanlı
Enlem: 40,1200 / Boylam: 28,7292
Unçukuru'ndan Gölyazı'na bakış.



15 Eylül 2017 / Şenol Şanlı
Enlem: 40,1561 / Boylam: 28,7008
Fadıllı Köyü göl kenarından doğuya doğru, Bursa yönü!



15 Eylül 2017 / Şenol Şanlı
Enlem: 40,1080 / Boylam: 28,6814
(Unçukuru sonrası: Kazanpınar, Akçapınar, Doğanalan, Ayvaköy arası)
En karanlık değer okunduğu yerden (20,90 kadir/açısanıye²) doğuya doğru, Bursa yönü!

EK-3: ÖLÇÜM VERİLERİ

Sıra No	Tarih	Enlem	Boylam	SQM Değeri (kadir/açısaniye ²)	Ekip No
1	13 Eylül 2017	40,2187	28,9995	17,63	1
2		40,2222	28,9959	17,91	
3		40,218	28,9768	17,88	
4		40,2214	28,976	17,86	
5		40,2179	28,9548	17,73	
6		40,2001	28,9536	17,92	
7		40,2667	28,8499	19,38	2
8		40,2351	28,8351	19,14	
9		40,2351	28,8153	19,52	
10		40,2137	28,8097	19,19	
11		40,2135	28,8291	19,06	
12		40,2125	28,8876	18,54	
13		40,2194	28,9264	17,76	3
14		40,2179	28,9058	18,00	
15		40,2199	28,8807	18,66	
16		40,2296	28,8905	18,63	
17		40,2579	28,8749	19,13	
18		40,2543	28,8865	19,18	
19		40,199	28,9064	18,99	
20	14 Eylül 2017	40,1957	28,8401	18,98	1
21		40,1842	28,8295	19,08	
22		40,1717	28,8572	19,35	
23		40,1707	28,8442	19,38	
24		40,1719	28,8724	19,32	
25		40,1796	28,8725	19,15	
26		40,2115	28,8756	18,71	
27		40,2461	28,8378	19,19	2
28		40,2578	28,8623	18,98	
29		40,2687	28,8571	19,08	
30		40,2703	28,8769	19,03	
31		40,255	28,884	18,88	
32		40,2557	28,9103	18,15	
33		40,2537	28,93	18,16	
34		40,2561	28,9447	17,77	
35		40,271	28,9517	17,91	
36		40,2704	28,9308	18,06	
37		40,1611	28,7843	19,69	3
38		40,1477	28,8066	19,83	
39		40,1269	28,7928	20,08	
40		40,1062	28,796	20,23	
41		40,099	28,8077	20,33	
42		40,0945	28,8189	20,17	
43		40,0918	28,814	20,34	
44		40,11	28,8045	20,31	
45		40,1046	28,7844	20,44	
46		40,0999	28,7735	20,44	
47		40,1033	28,7643	20,46	
48		40,1092	28,7496	20,48	
49		40,1433	28,8011	20,17	
50		40,26651	28,824828	19,61	
51		40,265925	28,810438	19,64	
52		40,266968	28,784215	19,79	
53		40,283612	28,760667	20,00	
54		40,283675	28,729422	20,27	
55		40,27881	28,709539	20,15	

56		40,284855	28,684702	20,44	
57		40,294028	28,65452	20,64	
58		40,267984	28,653033	20,46	
59		40,266084	28,663175	20,37	
60		40,261314	28,691579	20,26	
61		40,236331	28,699147	20,23	
62		40,239226	28,674957	19,68	
63		40,21592	28,710008	19,80	
64		40,220421	28,727853	19,90	
65		40,263904	28,707343	20,27	
66		40,269724	28,736912	20,20	
67		40,1999	28,8814	19,07	
68		40,1793	28,8815	19,32	
69		40,1705	28,8807	19,45	
70		40,167	28,8953	19,31	
71		40,1521	28,8776	19,94	
72		40,1824	28,9045	18,88	
73		40,1959	28,9088	18,76	
74		40,1976	28,9309	18,46	
75		40,1743	28,9333	18,75	
76		40,2186	28,8653	18,64	
77		40,2348	28,9062	18,19	
78		40,2338	28,9274	17,80	
79		40,2386	28,9504	17,76	
80		40,2168	28,9559	17,68	
81		40,2175	28,9752	17,55	
82		40,2344	28,9774	17,57	
83		40,2584	28,9995	17,55	
84		40,1653	28,7671	19,59	
85		40,1658	28,7389	19,82	
86		40,1613	28,7228	20,12	
87		40,1564	28,7007	20,38	
88		40,1367	28,6852	20,44	
89		40,1401	28,699	20,57	
90		40,1283	28,702	20,61	
91	15 Eylül 2017	40,108	28,6814	20,90	3
92		40,0995	28,6871	20,81	
93		40,0958	28,7061	20,83	
94		40,1102	28,727	20,73	
95		40,1224	28,7238	20,55	
96		40,1239	28,7479	20,62	
97		40,1628	28,7479	19,85	
98		40,25059	28,813141	19,72	
99		40,25538	28,829424	19,60	
100		40,239828	28,834407	19,25	
101		40,225909	28,831703	17,88	
102		40,22221	28,820156	19,03	
103		40,235108	28,816332	18,37	
104		40,227245	28,803945	19,28	
105		40,23932	28,800441	19,55	
106		40,25072	28,796032	19,80	
107		40,257421	28,770723	20,12	
108		40,274178	28,750761	20,03	
109		40,259872	28,752911	20,18	
110		40,240412	28,744231	20,15	
111		40,23054	28,730505	20,26	
112		40,211748	28,684815	20,40	
113		40,190229	28,683244	20,62	
114		40,17018	28,680042	18,88	
115		40,163778	28,676315	19,25	

116	16 Eylül 2017	40,1628	28,9243	19,13	1
117		40,1771	28,9542	18,73	
118		40,1669	28,9549	18,93	
119		40,149	28,9574	19,40	
120		40,153	28,9662	19,29	
121		40,1672	28,9773	18,94	
122		40,1854	28,9769	18,53	
123		40,1872	28,9918	19,13	
124		40,1986	29,0013	17,38	
125		40,2004	28,9772	17,74	
126		40,2008	28,9552	17,74	
127		40,2485	28,8148	19,51	2
128		40,2735	28,9005	18,53	
129		40,1474	28,8065	19,86	3
130		40,1379	28,8087	19,91	
131		40,1363	28,8129	19,93	
132		40,1267	28,8182	20,03	
133		40,1256	28,794	20,14	
134		40,1418	28,7809	20,09	
135		40,1327	28,768	20,11	
136		40,1376	28,723	20,28	
137		40,1384	28,7437	20,33	
138		40,159	28,7388	19,98	
139		40,247152	28,774468	19,78	
140		40,236448	28,781085	19,23	
141		40,237113	28,765583	19,78	
142		40,222856	28,751308	19,90	
143		40,201111	28,722326	20,13	
144		40,199927	28,714075	20,26	
145		40,218241	28,663552	20,39	
146		40,191046	28,743473	19,88	
147		40,184207	28,721078	20,14	
148		40,177421	28,762368	19,43	
149		40,176528	28,796485	19,35	
150		40,192526	28,78149	19,50	
151		40,213713	28,779476	19,31	
152		40,209188	28,801315	19,23	
153		40,191806	28,835039	19,35	
154		40,172236	28,818849	19,55	
155	17 Eylül 2017	40,1473	28,8966	19,58	1
156		40,1392	28,8572	19,87	
157		40,13902	28,847	20,11	
158		40,1202	28,8414	20,20	
159		40,1068	28,8417	20,25	
160		40,0897	28,8349	20,44	
161		40,0888	28,867	20,45	
162		40,0857	28,8782	20,47	
163		40,0778	28,8916	20,50	
164	18 Eylül 2017	40,1443	28,8053	20,10	
165		40,1289	28,8274	20,27	
166		40,1615	28,9384	19,35	
167		40,1464	28,935	19,67	
168		40,126	28,8831	20,14	
169		40,1209	28,8804	20,31	
170		40,1184	28,8961	20,47	
171		40,1288	28,8968	20,33	

EK-4: HESAPLAMA VERİLERİ

SQM (kadir/açısaniye ²) (m)	Parlaklık cd/m ² (L)	Yüzey Alanı m ² (A)	Işık Şiddeti cd (I)	Aydınlanma lümen/m ² (E)	Işık Akısı lümen (Φ)
17,47	0,011102576	192457,481	2136,77381	0,06975954	13425,7458
17,52	0,010602878	664597,965	7046,651	0,06661985	44275,414
17,57	0,01012567	745038,789	7544,01667	0,06362146	47400,4547
17,57	0,01012567	38982,076	394,719625	0,06362146	2480,09655
17,62	0,009669939	9772297,766	94497,5279	0,06075802	593745,479
17,62	0,009669939	1378385,582	13328,9051	0,06075802	83747,9809
17,72	0,00881909	16595047,63	146353,212	0,05541197	919564,352
17,82	0,008043105	7316604,922	58848,224	0,05053632	369754,296
17,82	0,008043105	3288600,466	26450,5599	0,05053632	166193,769
17,87	0,007681106	482623,675	3707,08358	0,04826181	23292,2931
17,93	0,007268148	5710211,29	41502,6601	0,04566712	260768,904
17,97	0,007005252	49047,97	343,593384	0,0440153	2158,8609
18,02	0,006689964	169573,509	1134,4406	0,04203428	7127,90054
18,02	0,006689964	5858348,182	39192,1362	0,04203428	246251,454
18,12	0,006101319	7265337,134	44328,1419	0,03833572	278521,93
18,12	0,006101319	290705,906	1773,68956	0,03833572	11144,4202
18,22	0,005564469	411838,26	2291,66138	0,03496259	14398,9331
18,22	0,005564469	4117476,499	22911,5718	0,03496259	143957,651
18,32	0,005074856	1454136,371	7379,53323	0,03188626	46366,9748
18,32	0,005074856	532970,726	2704,74989	0,03188626	16994,4447
18,33	0,00502833	3963449,539	19929,5315	0,03159393	125220,939
18,42	0,004628324	629421,801	2913,16804	0,02908062	18303,9746
18,42	0,004628324	3886462,972	17987,8099	0,02908062	113020,743
18,52	0,004221082	677527,97	2859,9009	0,02652184	17969,2873
18,52	0,004221082	4896166,847	20667,1202	0,02652184	129855,346
18,62	0,003849672	15205318,14	58535,4911	0,0241882	367789,338
18,72	0,003510943	12319150,7	43251,8336	0,0220599	271759,285
18,82	0,003202018	12141058,71	38875,8873	0,02011887	244264,404
18,97	0,002788841	40047,283	111,685505	0,0175228	701,740724
19,02	0,002663322	14202178,4	37824,9811	0,01673415	237661,365
19,02	0,002663322	282562,619	752,555376	0,01673415	4728,44488
19,02	0,002663322	129499,446	344,898786	0,01673415	2167,06299
19,02	0,002663322	389518,891	1037,41442	0,01673415	6518,26704
19,07	0,002543453	254349,714	646,926601	0,01598099	4064,75971
19,12	0,002428979	106956,272	259,794536	0,01526173	1632,33721
19,12	0,002428979	11606371,97	28191,6335	0,01526173	177133,257
19,12	0,002428979	221325,085	537,593978	0,01526173	3377,80258
19,17	0,002319657	867,625	2,01259233	0,01457483	12,6454905
19,17	0,002319657	1250825,004	2901,48487	0,01457483	18230,5671
19,22	0,002215255	315476,967	698,861977	0,01391886	4391,0793
19,22	0,002215255	16263682,67	36028,2068	0,01391886	226371,9
19,27	0,002115552	855400,099	1809,6436	0,01329241	11370,3261
19,32	0,002020337	20296795,95	41006,362	0,01269415	257650,571
19,42	0,001842569	12883496,46	23738,7309	0,0115772	149154,845
19,42	0,001842569	530477,74	977,441828	0,0115772	6141,44813
19,42	0,001842569	16491938,43	30387,5342	0,0115772	190930,508
19,43	0,001825676	430463,394	785,886776	0,01147106	4937,87224
19,52	0,001680443	16670535,31	28013,8824	0,01055853	176016,414

19,52	0,001680443	627261,699	1054,07746	0,01055853	6622,96399
19,62	0,001532582	16063261,49	24618,2674	0,0096295	154681,136
19,62	0,001532582	725706,454	1112,20474	0,0096295	6988,18847
19,72	0,001397732	827112,176	1156,08075	0,00878221	7263,86958
19,72	0,001397732	16536949,05	23114,2147	0,00878221	145230,894
19,77	0,001334823	274755,775	366,750391	0,00838694	2304,36067
19,82	0,001274746	919302,901	1171,87796	0,00800947	7363,12638
19,82	0,001274746	16536678,13	21080,069	0,00800947	132449,98
19,82	0,001274746	764141,553	974,086607	0,00800947	6120,36666
19,87	0,001217373	420151,298	511,480952	0,00764898	3213,7296
19,92	0,001162582	1310219,878	1523,23861	0,00730472	9570,79046
19,92	0,001162582	22326776,57	25956,7182	0,00730472	163090,87
19,92	0,001162582	1017056,533	1182,41206	0,00730472	7429,31406
20,02	0,001060288	22784108,55	24157,7118	0,00666198	151787,38
20,02	0,001060288	1856422,441	1968,34203	0,00666198	12367,4577
20,02	0,001060288	1116901,215	1184,23671	0,00666198	7440,77868
20,12	0,000966994	2401979,902	2322,70003	0,0060758	14593,9547
20,12	0,000966994	31129305,25	30101,8497	0,0060758	189135,5
20,17	0,000923472	255426,649	235,879371	0,00580235	1482,0738
20,22	0,000881909	21741637,4	19174,1449	0,0055412	120474,705
20,22	0,000881909	30211367,03	26643,6753	0,0055412	167407,149
20,32	0,000804311	18349343,51	14758,5702	0,00505363	92730,8316
20,32	0,000804311	4726282,804	3801,39904	0,00505363	23884,8946
20,32	0,000804311	4062188,924	3267,26133	0,00505363	20528,8084
20,42	0,00073354	3815519,855	2798,83614	0,00460897	17585,6061
20,42	0,00073354	8784445,922	6443,74179	0,00460897	40487,2237
20,42	0,00073354	3653834,751	2680,23366	0,00460897	16840,4048
20,42	0,00073354	7386342,752	5418,1773	0,00460897	34043,412
20,52	0,000668996	6151232,998	4115,15249	0,00420343	25856,2657
20,52	0,000668996	2259738,454	1511,7568	0,00420343	9498,64813
20,52	0,000668996	1850640,268	1238,0716	0,00420343	7779,03332
20,57	0,000638887	243363,597	155,481733	0,00401424	976,920537
20,62	0,000610132	6333985,589	3864,56687	0,00383357	24281,7898
20,72	0,000556447	5770946,527	3211,22551	0,00349626	20176,725
20,82	0,000507486	3598588,376	1826,23192	0,00318863	11474,5535
20,87	0,000484645	200752,737	97,2938145	0,00304511	611,315066
TOPLAM		500.309.337,2	1.229.746,14		7.726.722,91
		Alan (m ²)	cd		lümen

EK-5: AÇI BAĞIMLI HESAPLAMA VERİLERİ

DOĞU YÖNÜ

AÇI (derece)	m (kadir/açısanıye ²)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0	17,04	20,41	19,28	20,6	18,32	16,98	19,72
5	17,27	20,41	19,28	20,58	18,28	17,09	19,71
10	17,37	20,4	19,24	20,57	18,3	17,18	19,72
15	17,45	20,38	19,18	20,32	18,32	17,28	19,68
20	17,47	20,35	19,07	20,4	18,32	17,39	19,65
25	17,47	20,28	19,03	20,43	18,28	17,41	19,65
30	17,43	20,24	18,92	20,39	18,21	17,37	19,6
35	17,31	20,08	18,83	20,34	18,14	17,32	19,56
40	17,15	19,99	18,71	20,25	18,04	17,2	19,52
45	16,98	19,9	18,31	20,21	17,94	17,07	19,43
50	16,75	19,6	18,34	20,09	17,71	16,92	19,35
55	16,45	19,45	18,28	20,08	17,56	16,72	19,24
60	16,22	19,24	18,09	20,04	17,34	16,44	18,33
65	15,85	19,04	17,28	19,91	17,11	16,29	18,07
70	15,69	18,74	17,42	19,73	16,74	16	17,82
75	15,51	18,66	17,36	19,83	16,61	15,68	17,54
80	15,42	18,64	17,12	19,85	16,42	15,29	17,37
85	15,36	18,64	16,37	20,06	16,27	15,14	17,44

KATI AÇI, dΩ steradyan	L, Parlaklık (cd/m ²)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0,000332233	0,016498	0,00074	0,002096	0,000621	0,005075	0,017435	0,001398
0,002654073	0,013348	0,00074	0,002096	0,000633	0,005265	0,015755	0,001411
0,005287948	0,012174	0,000747	0,002175	0,000639	0,005169	0,014502	0,001398
0,007881578	0,011309	0,000761	0,002298	0,000804	0,005075	0,013226	0,00145
0,010415224	0,011103	0,000782	0,002543	0,000747	0,005075	0,011952	0,001491
0,012869604	0,011103	0,000834	0,002639	0,000727	0,005265	0,011733	0,001491
0,015226039	0,011519	0,000866	0,00292	0,000754	0,005616	0,012174	0,001561
0,017466594	0,012865	0,001003	0,003173	0,00079	0,00599	0,012747	0,00162
0,019574218	0,014908	0,00109	0,003543	0,000858	0,006568	0,014237	0,00168
0,02153287	0,017435	0,001184	0,005122	0,00089	0,007202	0,016048	0,001826
0,023327644	0,021549	0,001561	0,004982	0,000994	0,008901	0,018426	0,001965
0,024944881	0,028407	0,001792	0,005265	0,001003	0,010219	0,022153	0,002175
0,026372272	0,035109	0,002175	0,006272	0,001041	0,012515	0,02867	0,005028
0,027598955	0,049366	0,002615	0,013226	0,001173	0,015468	0,032917	0,006389
0,028615592	0,057204	0,003447	0,011626	0,001385	0,021748	0,042996	0,008043
0,029414448	0,067519	0,00371	0,012286	0,001263	0,024515	0,057733	0,010409
0,029989442	0,073354	0,003779	0,015326	0,00124	0,029203	0,082684	0,012174
0,030336198	0,077522	0,003779	0,030579	0,001022	0,033529	0,094934	0,011414

E, Aydınlanma (lümen/m ²)						
#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
5,4811E-06	2,4596E-07	6,96E-07	2,06E-07	1,686E-06	5,793E-06	4,644E-07
3,5427E-05	1,9649E-06	5,56E-06	1,68E-06	1,397E-05	4,182E-05	3,744E-06
6,4374E-05	3,951E-06	1,15E-05	3,38E-06	2,733E-05	7,669E-05	7,391E-06

8,9133E-05	5,9984E-06	1,81E-05	6,34E-06	4E-05	0,0001042	1,143E-05
0,00011564	8,1488E-06	2,65E-05	7,78E-06	5,286E-05	0,0001245	1,553E-05
0,00014289	1,074E-05	3,4E-05	9,35E-06	6,776E-05	0,000151	1,919E-05
0,00017539	1,3183E-05	4,45E-05	1,15E-05	8,551E-05	0,0001854	2,377E-05
0,00022471	1,7524E-05	5,54E-05	1,38E-05	0,0001046	0,0002227	2,829E-05
0,00029182	2,1336E-05	6,94E-05	1,68E-05	0,0001286	0,0002787	3,289E-05
0,00037543	2,5499E-05	0,00011	1,92E-05	0,0001551	0,0003456	3,931E-05
0,00050268	3,6416E-05	0,000116	2,32E-05	0,0002076	0,0004298	4,585E-05
0,00070861	4,471E-05	0,000131	2,5E-05	0,0002549	0,0005526	5,425E-05
0,00092592	5,7355E-05	0,000165	2,75E-05	0,00033	0,0007561	0,0001326
0,00136244	7,2163E-05	0,000365	3,24E-05	0,0004269	0,0009085	0,0001763
0,00163692	9,8634E-05	0,000333	3,96E-05	0,0006223	0,0012303	0,0002302
0,00198602	0,00010914	0,000361	3,72E-05	0,0007211	0,0016982	0,0003062
0,00219985	0,00011334	0,00046	3,72E-05	0,0008758	0,0024797	0,0003651
0,00235172	0,00011465	0,000928	3,1E-05	0,0010171	0,0028799	0,0003462
0,01319443	0,000755	0,003235	0,000343	0,0051332	0,0124714	0,0018387
0,00550759	0,00024715	0,0007	0,000207	0,0016942	0,0058205	0,0004666
2,40	3,05	4,62	1,65	3,03	2,14	3,94

Başucu değerine göre
Oran. k

BATI YÖNÜ

AÇI (derece)	m (kadir/açısıniye ²)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0	17,13	20,42	19,28	20,63	18,31	17,25	19,68
5	16,91	20,42	19,29	20,63	18,31	17,03	19,7
10	16,76	20,43	19,3	20,65	18,42	16,81	19,68
15	16,71	20,45	19,29	20,62	18,43	16,59	19,72
20	16,6	20,43	19,27	20,61	18,46	16,32	19,67
25	16,31	20,43	19,22	20,49	18,44	15,95	19,66
30	16	20,43	19,17	20,52	18,39	15,34	19,59
35	15,59	20,39	19,13	20,5	18,33	14,28	19,58
40	15,42	20,37	19,05	20,46	18,24	13,15	19,55
45	15,23	20,35	18,87	20,4	18,15	12,5	19,51
50	14,78	20,44	18,74	20,3	18,01	12,18	19,47
55	14,89	20,42	18,58	20,26	17,85	12,05	19,29
60	14,85	20,42	18,29	20,25	17,66	12,09	19,85
65	14,8	20,61	18,18	20,08	17,4	12,17	19,63
70	14,79	20,37	17,93	20,2	17,08	12,54	19,63
75	14,84	20,15	17,91	20,17	16,68	13,12	19,68
80	14,54	20,26	18,14	20,62	16,42	13,91	19,95
85	14,4	20,35	18,45	20,58	16,21	14,66	19,7

KATI AÇI, dΩ steradyan	L, Parlaklık (cd/m ²)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0,000332233	0,015185	0,000734	0,002096	0,000605	0,005122	0,013596	0,00145
0,002654073	0,018596	0,000734	0,002077	0,000605	0,005122	0,01665	0,001424
0,005287948	0,021351	0,000727	0,002058	0,000594	0,004628	0,02039	0,00145
0,007881578	0,022358	0,000714	0,002077	0,00061	0,004586	0,02497	0,001398
0,010415224	0,024741	0,000727	0,002116	0,000616	0,004461	0,03202	0,001464
0,012869604	0,032316	0,000727	0,002215	0,000688	0,004544	0,045022	0,001477
0,015226039	0,042996	0,000727	0,00232	0,000669	0,004758	0,078963	0,001576

0,017466594	0,062723	0,000754	0,002407	0,000681	0,005028	0,209616	0,00159
0,019574218	0,073354	0,000768	0,002591	0,000707	0,005463	0,593504	0,001635
0,02153287	0,087382	0,000782	0,003058	0,000747	0,005935	1,08	0,001696
0,023327644	0,132259	0,00072	0,003447	0,000819	0,006752	1,450186	0,00176
0,024944881	0,119515	0,000734	0,003994	0,00085	0,007824	1,634646	0,002077
0,026372272	0,124001	0,000734	0,005217	0,000858	0,00932	1,575519	0,00124
0,027598955	0,129845	0,000616	0,005773	0,001003	0,011842	1,463605	0,001519
0,028615592	0,131046	0,000768	0,007268	0,000898	0,015901	1,040935	0,001519
0,029414448	0,125148	0,000941	0,007403	0,000923	0,022984	0,610132	0,00145
0,029989442	0,164977	0,00085	0,00599	0,00061	0,029203	0,29473	0,001131
0,030336198	0,187682	0,000782	0,004502	0,000633	0,035434	0,147715	0,001424

E, Aydınlanma (lümen/m ²)						
#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
5,0451E-06	2,4371E-07	6,96E-07	2,01E-07	1,702E-06	4,517E-06	4,818E-07
4,9356E-05	1,9469E-06	5,51E-06	1,6E-06	1,359E-05	4,419E-05	3,779E-06
0,0001129	3,8434E-06	1,09E-05	3,14E-06	2,447E-05	0,0001078	7,669E-06
0,00017621	5,6239E-06	1,64E-05	4,81E-06	3,614E-05	0,0001968	1,102E-05
0,00025769	7,5699E-06	2,2E-05	6,41E-06	4,646E-05	0,0003335	1,524E-05
0,0004159	9,3538E-06	2,85E-05	8,85E-06	5,848E-05	0,0005794	1,901E-05
0,00065465	1,1067E-05	3,53E-05	1,02E-05	7,245E-05	0,0012023	2,399E-05
0,00109555	1,3171E-05	4,2E-05	1,19E-05	8,783E-05	0,0036613	2,777E-05
0,00143585	1,5035E-05	5,07E-05	1,38E-05	0,0001069	0,0116174	3,2E-05
0,00188159	1,6847E-05	6,58E-05	1,61E-05	0,0001278	0,0232555	3,652E-05
0,00308528	1,6799E-05	8,04E-05	1,91E-05	0,0001575	0,0338294	4,105E-05
0,0029813	1,8298E-05	9,96E-05	2,12E-05	0,0001952	0,0407761	5,181E-05
0,00327018	1,9345E-05	0,000138	2,26E-05	0,0002458	0,04155	3,27E-05
0,00358357	1,6995E-05	0,000159	2,77E-05	0,0003268	0,040394	4,191E-05
0,00374996	2,198E-05	0,000208	2,57E-05	0,000455	0,029787	4,345E-05
0,00368116	2,7668E-05	0,000218	2,72E-05	0,0006761	0,0179467	4,266E-05
0,00494757	2,5491E-05	0,00018	1,83E-05	0,0008758	0,0088388	3,392E-05
0,00569357	2,3735E-05	0,000137	1,92E-05	0,0010749	0,0044811	4,319E-05
0,03707734	0,00025501	0,001497	0,000258	0,0045829	0,2586057	0,0005082
0,00506946	0,00024488	0,0007	0,000202	0,0017099	0,004539	0,0004841
7,31	1,04	2,14	1,28	2,68	56,97	1,05

Başucu değerine göre
Oran. k

KUZEY YÖNÜ

AÇI (derece)	m (kadir/açısanıye ²)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0	17,01	20,39	19,26	20,62	18,3	16,98	19,73
5	16,94	20,39	19,28	20,63	18,37	16,94	19,69
10	16,95	20,41	19,24	20,6	18,41	16,94	19,6
15	16,81	20,41	19,2	20,61	18,45	16,93	19,55
20	16,68	20,4	19,09	20,15	18,43	16,84	19,47
25	16,27	20,39	19,06	20,37	18,39	16,82	19,36
30	15,86	20,38	18,98	20,3	18,31	16,85	19,28
35	15,51	20,41	18,91	20,16	18,25	16,73	19,18
40	15,18	20,32	18,83	20,03	18,17	16,6	19,05

45	15,28	20,27	18,6	19,92	18,06	16,56	18,92
50	14,75	20,2	18,4	19,69	17,94	16,33	18,74
55	14,51	20,15	18,24	19,48	17,78	16,34	19,4
60	14,43	20,06	18,05	19,26	17,62	16,2	19,18
65	14,16	19,99	17,86	18,98	17,46	16,14	19,12
70	13,64	19,87	17,15	18,58	17,24	16,06	18,81
75	13,28	19,8	16,23	18,44	17,06	15,81	19,17
80	13,02	19,82	16,05	18,25	16,91	15,4	19,21
85	13,42	19,92	13,81	18,29	16,89	15,06	19,69

KATI AÇI, dΩ steradyan	L, Parlaklık (cd/m ²)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0,000332233	0,01696	0,000754	0,002135	0,00061	0,005169	0,017435	0,001385
0,002654073	0,018089	0,000754	0,002096	0,000605	0,004846	0,018089	0,001437
0,005287948	0,017924	0,00074	0,002175	0,000621	0,004671	0,018089	0,001561
0,007881578	0,02039	0,00074	0,002256	0,000616	0,004502	0,018257	0,001635
0,010415224	0,022984	0,000747	0,002497	0,000941	0,004586	0,019835	0,00176
0,012869604	0,033529	0,000754	0,002567	0,000768	0,004758	0,020203	0,001947
0,015226039	0,048913	0,000761	0,002763	0,000819	0,005122	0,019653	0,002096
0,017466594	0,067519	0,00074	0,002947	0,000932	0,005413	0,021949	0,002298
0,019574218	0,091501	0,000804	0,003173	0,001051	0,005827	0,024741	0,002591
0,02153287	0,08345	0,000842	0,003921	0,001163	0,006448	0,02567	0,00292
0,023327644	0,135964	0,000898	0,004714	0,001437	0,007202	0,031727	0,003447
0,024944881	0,169599	0,000941	0,005463	0,001744	0,008345	0,031436	0,001877
0,026372272	0,182568	0,001022	0,006508	0,002135	0,00967	0,035762	0,002298
0,027598955	0,234112	0,00109	0,007752	0,002763	0,011205	0,037794	0,002429
0,028615592	0,377941	0,001217	0,014908	0,003994	0,013722	0,040684	0,003232
0,029414448	0,526531	0,001298	0,034788	0,004544	0,016197	0,051218	0,00232
0,029989442	0,668996	0,001275	0,04106	0,005413	0,018596	0,074718	0,002236
0,030336198	0,462832	0,001163	0,323165	0,005217	0,018942	0,102194	0,001437

E, Aydınlanma (lümen/m ²)						
#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
5,6347E-06	2,5053E-07	7,09E-07	2,03E-07	1,717E-06	5,793E-06	4,601E-07
4,8011E-05	2,0014E-06	5,56E-06	1,6E-06	1,286E-05	4,801E-05	3,814E-06
9,4779E-05	3,9148E-06	1,15E-05	3,29E-06	2,47E-05	9,566E-05	8,255E-06
0,00016071	5,8349E-06	1,78E-05	4,85E-06	3,548E-05	0,0001439	1,288E-05
0,00023938	7,782E-06	2,6E-05	9,8E-06	4,776E-05	0,0002066	1,833E-05
0,00043151	9,7049E-06	3,3E-05	9,89E-06	6,123E-05	0,00026	2,506E-05
0,00074475	1,1588E-05	4,21E-05	1,25E-05	7,798E-05	0,0002992	3,192E-05
0,00117932	1,2931E-05	5,15E-05	1,63E-05	9,454E-05	0,0003834	4,015E-05
0,00179105	1,5744E-05	6,21E-05	2,06E-05	0,0001141	0,0004843	5,071E-05
0,00179691	1,8135E-05	8,44E-05	2,5E-05	0,0001388	0,0005527	6,288E-05
0,00317172	2,0955E-05	0,00011	3,35E-05	0,000168	0,0007401	8,041E-05
0,00423063	2,3464E-05	0,000136	4,35E-05	0,0002082	0,0007842	4,682E-05
0,00481472	2,6951E-05	0,000172	5,63E-05	0,000255	0,0009431	6,061E-05
0,00646125	3,0083E-05	0,000214	7,63E-05	0,0003093	0,0010431	6,704E-05
0,010815	3,4836E-05	0,000427	0,000114	0,0003927	0,0011642	9,248E-05
0,01548761	3,8193E-05	0,001023	0,000134	0,0004764	0,0015066	6,823E-05

0,02006283	3,8229E-05	0,001231	0,000162	0,0005577	0,0022407	6,705E-05
0,01404058	3,5268E-05	0,009804	0,000158	0,0005746	0,0031002	4,359E-05
0,08557639	0,00033587	0,013451	0,000882	0,003551	0,0140017	0,0007807
0,0056619	0,00025175	0,000713	0,000204	0,0017257	0,0083918	0,0004623
15,11	1,33	18,87	4,33	2,06	1,67	1,69

Başucu değerine göre
Oran. k

GÜNEY YÖNÜ

AÇI (derece)	m (kadir/açısıniye ²)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0	17,29	20,42	19,3	20,62	18,39	17,23	19,67
5	17,28	20,42	19,3	20,6	18,25	17,26	19,72
10	17,27	20,4	19,3	20,58	18,24	17,29	19,78
15	17,08	20,38	19,28	20,54	18,25	17,32	19,79
20	17,05	20,36	19,25	20,47	18,27	17,35	19,79
25	16,91	20,32	19,21	20,64	18,24	17,36	19,82
30	16,78	20,3	19,16	20,57	18,21	17,38	19,87
35	16,54	20,28	19,07	20,5	18,24	17,34	19,85
40	16,19	20,15	19	20,48	18,24	17,32	19,79
45	15,93	20,04	18,86	20,43	18,23	17,27	19,81
50	15,82	20,08	18,72	20,39	18,2	17,12	19,87
55	15,5	20,01	18,56	20,4	18,08	17,02	19,86
60	15,4	19,94	18,43	20,36	18,09	16,57	19,23
65	14,7	19,85	18,15	20,43	18,03	16,34	19,05
70	14,47	19,74	18,01	20,55	17,98	16,14	19,05
75	13,76	19,84	17,62	20,54	17,96	15,97	18,82
80	13,86	19,8	17,13	20,3	17,94	15,18	18,76
85	13,82	19,93	17,18	19,93	17,94	14,94	18,58

KATI AÇI, dΩ steradyan	L, Parlaklık (cd/m ²)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0,000332233	0,013105	0,000734	0,002058	0,00061	0,004758	0,013849	0,001464
0,002654073	0,013226	0,000734	0,002058	0,000621	0,005413	0,013472	0,001398
0,005287948	0,013348	0,000747	0,002058	0,000633	0,005463	0,013105	0,001323
0,007881578	0,015901	0,000761	0,002096	0,000657	0,005413	0,012747	0,00131
0,010415224	0,016346	0,000775	0,002155	0,000701	0,005314	0,0124	0,00131
0,012869604	0,018596	0,000804	0,002236	0,000599	0,005463	0,012286	0,001275
0,015226039	0,020962	0,000819	0,002341	0,000639	0,005616	0,012062	0,001217
0,017466594	0,026147	0,000834	0,002543	0,000681	0,005463	0,012515	0,00124
0,019574218	0,036093	0,000941	0,002713	0,000694	0,005463	0,012747	0,00131
0,02153287	0,045859	0,001041	0,003086	0,000727	0,005513	0,013348	0,001287
0,023327644	0,050749	0,001003	0,003511	0,000754	0,005668	0,015326	0,001217
0,024944881	0,068143	0,00107	0,004068	0,000747	0,00633	0,016804	0,001229
0,026372272	0,074718	0,001141	0,004586	0,000775	0,006272	0,025435	0,002195
0,027598955	0,142372	0,00124	0,005935	0,000727	0,006629	0,031436	0,002591
0,028615592	0,175964	0,001372	0,006752	0,000651	0,006941	0,037794	0,002591
0,029414448	0,338395	0,001251	0,00967	0,000657	0,00707	0,0442	0,003202
0,029989442	0,30862	0,001298	0,015185	0,000819	0,007202	0,091501	0,003384
0,030336198	0,320202	0,001152	0,014502	0,001152	0,007202	0,114136	0,003994

E, Aydınlanma (lümen/m ²)						
#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
4,3538E-06	2,4371E-07	6,84E-07	2,03E-07	1,581E-06	4,601E-06	4,863E-07
3,5102E-05	1,9469E-06	5,46E-06	1,65E-06	1,437E-05	3,575E-05	3,71E-06
7,0585E-05	3,951E-06	1,09E-05	3,35E-06	2,889E-05	6,93E-05	6,994E-06
0,00012532	5,9984E-06	1,65E-05	5,18E-06	4,266E-05	0,0001005	1,033E-05
0,00017025	8,0741E-06	2,24E-05	7,3E-06	5,535E-05	0,0001291	1,365E-05
0,00023933	1,0351E-05	2,88E-05	7,71E-06	7,031E-05	0,0001581	1,641E-05
0,00031916	1,2474E-05	3,56E-05	9,73E-06	8,551E-05	0,0001837	1,854E-05
0,0004567	1,4576E-05	4,44E-05	1,19E-05	9,542E-05	0,0002186	2,166E-05
0,00070649	1,8412E-05	5,31E-05	1,36E-05	0,0001069	0,0002495	2,565E-05
0,00098747	2,2414E-05	6,65E-05	1,57E-05	0,0001187	0,0002874	2,77E-05
0,00118384	2,3404E-05	8,19E-05	1,76E-05	0,0001322	0,0003575	2,84E-05
0,00169983	2,6693E-05	0,000101	1,86E-05	0,0001579	0,0004192	3,065E-05
0,00197048	3,01E-05	0,000121	2,04E-05	0,0001654	0,0006708	5,789E-05
0,00392931	3,4223E-05	0,000164	2,01E-05	0,0001829	0,0008676	7,15E-05
0,00503531	3,9267E-05	0,000193	1,86E-05	0,0001986	0,0010815	7,414E-05
0,0099537	3,6812E-05	0,000284	1,93E-05	0,000208	0,0013001	9,419E-05
0,00925533	3,894E-05	0,000455	2,46E-05	0,000216	0,0027441	0,0001015
0,0097137	3,4945E-05	0,00044	3,49E-05	0,0002185	0,0034625	0,0001212
0,04585629	0,00036283	0,002125	0,00025	0,0020992	0,0123398	0,0007245
0,00437484	0,00024488	0,000687	0,000204	0,0015884	0,0046234	0,0004886
10,48	1,48	3,09	1,23	1,32	2,67	1,48

Başucu değerine göre
Oran. k